

Effet des fluides de coupe sur la résistance à la coupure et à la perforation des gants de protection

Phuong Nguyen-Tri
Ennouri Triki
Ludovic Tuduri
Chantal Gauvin
Toan Vu-Khanh

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-987



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique [InfoIRSST](#)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2017
ISBN : 978-2-89631-964-0
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
et de la valorisation de la recherche
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
septembre 2017

Effet des fluides de coupe sur la résistance à la coupure et à la perforation des gants de protection

Phuong Nguyen-Tri¹, Ennouri Triki¹, Ludovic Tuduri²,
Chantal Gauvin², Toan Vu-Khanh¹

¹École de technologie supérieure (ÉTS)
²IRSST

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-987



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les membres du comité de suivi pour leur précieuse collaboration et leur enthousiasme lors de la réalisation de ce projet.

Nous exprimons particulièrement notre reconnaissance aux entreprises du secteur de l'usinage des métaux qui se sont investies et ont contribué à l'étude sur l'usure des gants en milieu de travail, ainsi qu'aux travailleurs et travailleuses de ces entreprises qui se sont portés volontaires pour tester les gants et exprimer leurs commentaires.

Nous remercions également les manufacturiers des gants de protection pour leur concours tout au long de ce projet.

Enfin, nous témoignons notre gratitude aux stagiaires et collègues de l'École de technologie supérieure (ÉTS) et de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), pour leur contribution à ce projet : Florent Souper, Helena Texido Pedarros et Guillaume Wojdyla, stagiaires à l'ÉTS; Jonathan Arnould, stagiaire à l'IRSST; Radu Romanica, Mazeghrane Nabil et Serge Plamondon, techniciens à l'ÉTS; Pierre Drouin, technicien à l'IRSST; Marc-Antoine Busque et Alexandre Boucher, professionnels scientifiques à l'IRSST, pour leur aide concernant les analyses statistiques ainsi que Natalie Rodrigue (CreaScience) pour son expertise en statistique et son aide à nuancer l'interprétation des résultats étant donné les problèmes soulevés dans les expérimentations, notamment les tests de coupure.

SOMMAIRE

Le nombre d'accidents du travail a diminué au cours des 30 dernières années au Québec. Néanmoins, il y a toujours un travailleur qui y est blessé ou mutilé toutes les six minutes. Les blessures aux mains ont représenté 14,9 % de l'ensemble des lésions indemnisées par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CNESST) en 2012. Cette proportion a atteint 30 % dans certains secteurs d'activité, notamment ceux de l'usinage du métal et de la préparation alimentaire. Le port de gants de protection adaptés au contexte de travail est l'un des moyens pour réduire le risque de blessures aux mains. Des méthodes normalisées permettent de déterminer le niveau de protection des gants, notamment contre la coupure et la perforation. Cependant, ces niveaux de protection sont généralement connus pour des gants neufs seulement et peu d'études ont montré leur évolution temporelle selon les contraintes rencontrées en milieu de travail. Dans de nombreux secteurs d'activité, comme celui de l'usinage du métal, les risques sont souvent multiples et l'exposition aux fluides de coupe peut modifier les propriétés de résistance mécanique des gants. De plus, les gants peuvent parfois être nettoyés afin de prolonger leur durée d'utilisation et de réduire les coûts, sans pour autant que l'on ait déterminé l'impact de ce traitement sur leurs performances.

L'objectif de cette étude était de caractériser l'effet des fluides de coupe sur la résistance mécanique des gants de protection, en conditions contrôlées au laboratoire ainsi qu'en milieu de travail. Pour ce faire, des gants et des contaminants déjà utilisés dans trois secteurs de travail de deux entreprises partenaires de l'étude ont d'abord été choisis. Les effets d'une contamination de ces gants en laboratoire et des traitements de nettoyage, sur la résistance résiduelle des gants à la coupure et à la perforation, ont été évalués avec différents couples gants/contaminants. Ensuite, des tests de gonflement en laboratoire sur différents polymères ont été réalisés afin de déterminer les polymères d'enduction des gants les plus résistants aux fluides de coupe utilisés en usinage du métal. Des tests de gonflement sur deux de ces polymères exposés à des fluides de coupe à différentes températures ont également été effectués pour constater l'effet de la température sur la résistance chimique. Des essais complémentaires de caractérisation des fluides de coupe et l'utilisation des résultats des tests de gonflement ont été analysés selon une régression linéaire multiple. Cette analyse a permis de déterminer les paramètres caractérisant les fluides qui ont un impact significatif sur le gonflement. Finalement, à partir de ces résultats et considérant les secteurs de travail ciblés dans les deux entreprises partenaires de l'étude, des gants pouvant répondre aux besoins des travailleurs en termes de la protection et de la fonctionnalité ont été sélectionnés parmi ceux disponibles sur le marché. Ces « nouveaux » gants ont été testés en milieu de travail dans le cadre d'un programme d'usure des gants. Ce programme a consisté à mesurer la résistance à la coupure et à la perforation des gants usagés après leur utilisation et à comparer ces propriétés à celles des gants neufs, ainsi qu'à vérifier auprès des travailleurs, à l'aide d'un questionnaire, si le choix des gants répondait bien à leurs besoins.

Les essais de gonflement menés sur les polymères ont permis de classer les polymères d'enduction potentiels des gants selon l'ordre décroissant de leur résistance aux fluides de coupe : PVC, Nitrile, Polyuréthane > Néoprène > Butyl, Latex. L'analyse effectuée selon une régression linéaire multiple a permis, d'une part, de démontrer que la densité (ou la constante de viscosité-gravité) du fluide et les paramètres de solubilité δ_a et δ_p des polymères ont un impact

significatif sur le gonflement et, d'autre part, de proposer des modèles qui expliquent jusqu'à 74 % de la variance totale du gonflement.

Les résultats des essais de contamination des gants en laboratoire sur différents couples gants/contaminants ont démontré que l'état du gant avait un effet significatif sur sa résistance mécanique, notamment sur la résistance à la perforation. De manière générale, la résistance à la coupure et surtout à la perforation diminue lorsque les gants sont en contact avec un fluide de coupe. Cependant, avec plusieurs des couples gants/contaminants étudiés, l'effet des fluides de coupe sur la résistance mécanique n'a pas été statistiquement significatif. Ces résultats sont compréhensibles dans la mesure où les gants initialement utilisés par les entreprises partenaires sont composés principalement des polymères nitrile ou polyuréthane, ceux-ci ayant démontré les meilleures résistances aux fluides de coupe lors des essais de gonflement en laboratoire. Les résultats des traitements de nettoyage des gants ont mis en évidence des changements de morphologie et de propriétés mécaniques, notamment une décoloration et une légère augmentation de la résistance à la perforation.

Les résultats du programme d'usure des gants en milieu de travail ont montré que l'effet d'une utilisation normale en présence de contaminants est très complexe et différent d'une contamination réalisée en laboratoire. Dans ces milieux de travail, les gants ont subi non seulement l'action des fluides de coupe, mais aussi une usure mécanique associée aux spécificités des activités de travail (parfois inhomogène d'un travailleur à l'autre). Les essais de résistance à la perforation des gants ont montré que le niveau de protection des gants usagés était plus faible que celui des gants neufs. Des changements de morphologie des matériaux de gants ont également été observés, notamment des trous, des traces d'érosion et des déchirures plus ou moins profondes. Ces signes d'usure peuvent être attribués à la dégradation chimique du matériau et/ou à l'usure mécanique durant l'activité de travail. Les résultats obtenus quant à la satisfaction des usagers et leur acceptation des gants testés démontrent qu'il n'existe pas de modèles universels, valables pour toutes les tâches professionnelles et appropriés à tous les types d'environnement de travail. Le port de certains gants peut être largement accepté ou refusé, ou encore faire l'objet d'avis extrêmement partagés parmi les travailleurs.

De manière générale, les données issues des tests de coupure ont présenté des variabilités importantes rendant difficile la détection d'effets, que ce soit pour les gants contaminés en laboratoire, nettoyés ou usés en milieu de travail. Pour utiliser cette propriété dans des études ultérieures, une mise au point de la méthode de coupure et un meilleur contrôle des différentes sources de variabilité devraient être considérés.

Cette étude a permis de formuler des recommandations sur les meilleurs polymères d'enduction pour les gants utilisés dans le secteur de l'usinage du métal et de déterminer quels gants peuvent potentiellement remplacer ceux actuellement utilisés dans les entreprises partenaires de l'étude. Ces travaux ont également favorisé une meilleure compréhension de l'action des fluides de coupe sur le comportement des gants dans différentes conditions d'utilisation.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XI
1. INTRODUCTION	1
1.1 Importance du projet et de la problématique en santé et en sécurité au travail	1
1.2 État des connaissances scientifiques	2
1.2.1 La résistance mécanique des gants de protection.....	2
1.2.2 La résistance chimique des gants de protection aux fluides de coupe	4
1.2.2.1 Fluides de coupe.....	4
1.2.2.2 Évaluation de la résistance chimique	4
1.3 Objectifs	9
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	11
2.1 Méthodologie générale	11
2.2 Matériels	13
2.2.1 Gants de protection.....	13
2.2.2 Polymères d'enduction	14
2.2.3 Contaminants.....	14
2.3 Méthodes	16
2.3.1 Contamination en laboratoire	16
2.3.1.1 Contamination des gants	16
2.3.1.2 Essais de gonflement des membranes polymères	16
2.3.2 Nettoyage des gants.....	17
2.3.3 Caractérisation et analyses	18
2.3.3.1 Résistance à la coupure	18
2.3.3.2 Résistance à la perforation	20
2.3.3.3 Microscopie optique	21
2.3.3.4 Caractérisation des huiles.....	21
2.3.4 Usure des gants en milieu de travail.....	22
2.3.4.1 Description des postes de travail ciblés.....	22
2.3.4.2 Travailleurs participants	23

2.3.4.3	Processus de sélection des gants	23
2.3.4.4	Questionnaires	24
2.3.4.5	Procédures d'essais des gants en milieu de travail.....	25
2.3.4.6	Analyse des résultats	25
3.	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	27
3.1	Effets de la contamination et du nettoyage sur la résistance mécanique des gants ..	27
3.1.1	Effet de la contamination des gants.....	27
3.1.2	Effet du nettoyage sur la performance des gants.....	29
3.1.2.1	Observation des effets du nettoyage sur la morphologie des gants.....	30
3.1.2.2	Effet du nettoyage sur la résistance mécanique des gants.....	33
3.1.3	Résumé de l'effet de la contamination et du nettoyage	35
3.2	Détermination des meilleurs polymères d'enduction pour les gants utilisés en usinage du métal.....	36
3.2.1	Cinétique de gonflement	36
3.2.2	Coefficient de diffusion.....	39
3.2.3	Déterminants du gonflement	40
3.2.3.1	Corrélations simples	43
3.2.3.2	Régression linéaire multiple.....	45
3.2.4	Effet de la température sur le taux de gonflement	49
3.2.5	Résumé de la détermination des meilleurs polymères d'enduction	50
3.3	Usure des gants en milieu de travail.....	51
3.3.1	Gants sélectionnés pour le programme d'usure en milieu de travail	51
3.3.2	Effet de l'usure des gants sur leur résistance mécanique	53
3.3.2.1	Résistance à la coupure	54
3.3.2.2	Discussion sur la méthode de mesure de la résistance à la coupure des gants traités	56
3.3.2.3	Résistance à la perforation	58
3.3.2.4	Observation des effets de l'usure en milieu de travail sur la morphologie des gants	60
3.3.3	Perception des travailleurs et acceptabilité	62
3.3.4	Résumé de l'usure des gants en milieu de travail	69
4.	CONCLUSION	71
	BIBLIOGRAPHIE.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Caractéristiques des gants en cours d'utilisation chez les entreprises partenaires et utilisés dans l'étude	13
Tableau 2	Membranes polymères testées en laboratoire.....	14
Tableau 3	Liste des contaminants utilisés pour le projet.....	15
Tableau 4	Conditions de nettoyage pour les gants de l'étude selon deux méthodes (douce et agressive).....	17
Tableau 5	Méthodes utilisées pour la caractérisation des huiles.....	21
Tableau 6	Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *).....	28
Tableau 7	Effet du nettoyage doux sur la morphologie des gants neufs (grossissement 10X).....	30
Tableau 8	Effet du nettoyage doux sur la morphologie des gants contaminés (trempage dans l'huile Milform 64SST pendant 24 h) (Grossissement 10X).....	31
Tableau 9	Effet du nettoyage doux et agressif sur la morphologie de différents modèles de gants. Les images, observées en microscopie optique avec un grossissement 10X, présentent la morphologie des gants neufs et usagés (c.-à-d. récupérés du milieu de travail) sans traitement de nettoyage, à la suite d'une procédure de nettoyage douce et à la suite d'une procédure de nettoyage agressive.....	32
Tableau 10	Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet du nettoyage sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *).....	33
Tableau 11	Coefficients de diffusion des fluides de coupe dans les polymères étudiés	40
Tableau 12	Propriétés physicochimiques des huiles étudiées	42
Tableau 13	Paramètres de solubilité de Hansen (HSP) des polymères étudiés (tirés de Hansen, 1988 et Plastguide, 1990)	43
Tableau 14	Coefficient de corrélation de Pearson : propriétés des fluides de coupe	45
Tableau 15	Coefficient de corrélation de Pearson : gonflement-propriétés des fluides de coupe (* : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$)	46
Tableau 16	Résumé des postes de travail, des contaminants et des gants choisis pour l'essai de l'usure naturelle en milieu de travail	52
Tableau 17	Caractéristiques et propriétés des modèles de gants du programme d'usure en milieu de travail	52
Tableau 18	Raisons indiquées par les participants pour avoir cessé l'utilisation des gants lors des essais en milieu de travail	53
Tableau 19	Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de l'usure en milieu de travail sur la résistance à la coupure (significatif à $p \leq 0,05$ *).....	55

Tableau 20	Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de l'usure des gants en milieu de travail sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *)58
Tableau 21	Appréciation globale des gants basée sur la moyenne des cotes obtenues pour l'ensemble des aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort... 65
Tableau 22	Synthèse de la perception des travailleurs relative aux gants testés en milieu de travail pour l'entreprise A secteur <i>Screws</i> 66
Tableau 23	Synthèse de la perception des travailleurs sur les gants testés en milieu de travail pour l'entreprise A secteur Lignes 67
Tableau 24	Synthèse de la perception des travailleurs† sur les gants testés en milieu de travail pour l'entreprise B 68
Tableau 25	Taux de gonflement des polymères aux fluides de coupe calculé selon le modèle 1, $G(\%) = -172,39 + 4,31\delta_d - 1,18\delta_p + 117,14d$ et résidus du modèle 1 83
Tableau 26	Taux de gonflement des polymères aux fluides de coupe calculé selon le modèle 2, $G(\%) = -144,19 + 4,31\delta_d - 1,17\delta_p + 91,25VGC$, et résidus du modèle 2 84
Tableau 27	Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance mécanique des gants... 85
Tableau 28	Effet du nettoyage sur la résistance mécanique des gants 86
Tableau 29	Résistance à la coupure des gants neufs et usagés en milieu de travail..... 87
Tableau 30	Résistance à la perforation des gants neufs et usagés en milieu de travail 88
Tableau 31	Composition chimique du détergent utilisé 93
Tableau 32	Composition chimique du détachant utilisé 93

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Représentation schématique des systèmes compatibles et incompatibles : (a) mélange compatible, car $F_{\text{liq-élas}} \geq F_{\text{élas-élas}}$ et $F_{\text{liq-liq}}$, le polymère gonflera; (b) mélange incompatible, car $F_{\text{liq-liq}}$ ou $F_{\text{élas-élas}} \geq F_{\text{liq-élas}}$, le polymère ne gonflera pas (tirée de Brydson, 1999).....	5
Figure 2	Schéma représentatif des essais de nettoyage des gants.....	12
Figure 3	Procédure de contamination des gants en laboratoire.	16
Figure 4	Procédure des tests de gonflement des polymères en laboratoire.	17
Figure 5	TDM-100 (a) et porte-échantillon (b) pour la mesure de la résistance à la coupure.	19
Figure 6	Photo du montage pour la mesure de la résistance à la perforation.	20
Figure 7	Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la coupure des gants.	28
Figure 8	Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la perforation des gants.....	29
Figure 9	Résistance à la coupure (a) et à la perforation (b) des gants neufs (rouge), puis nettoyés (condition douce) 5 ou 10 fois (bleu).....	34
Figure 10	Évolution du taux de gonflement des polymères en fonction du temps d'exposition au contaminant Superedge 6754.....	37
Figure 11	Taux de gonflement des membranes polymères après 504 h d'exposition à différents fluides de coupe.....	38
Figure 12	Taux de gonflement des polymères (après 504 h de trempage) en fonction du point aniline des huiles (les points encerclés sont les résultats avec l'huile Milform 64SST).	44
Figure 13	Taux de gonflement des polymères (après 504 h de trempage) en fonction de la constante viscosité-gravité (VGC) des huiles (les points encerclés sont les résultats avec l'huile Milform 64SST).	44
Figure 14	Taux de gonflement des polymères théoriques calculés selon le modèle 1 (a) et mesurés expérimentalement (b), après contamination aux huiles pendant 504 h.	48
Figure 15	Taux de gonflement du nitrile en fonction du temps d'exposition à différentes températures avec le Milform 64SST.....	49
Figure 16	Taux de gonflement du butyle en fonction du temps d'exposition à différentes températures avec le Milform 64SST.....	50
Figure 17	Effet de l'usure des gants en milieu de travail sur la résistance à la coupure des gants.....	55
Figure 18	Course de coupure en fonction des forces appliquées pour évaluer la résistance à la coupure du gant Showa-Best Atlas 377, utilisé par l'entreprise A : a) secteur <i>Screws</i> et b) secteur <i>Lignes</i>	57

Figure 19	Course de coupure en fonction des forces appliquées pour évaluer la résistance à la coupure du gant Ansell Powerflex 80-813 par : a) l'entreprise A, secteur Lignes et b) l'entreprise B.	57
Figure 20	Effet de l'usure des gants en milieu de travail sur leur résistance à la perforation.	60
Figure 21	Photo (a) et images par microscopie optique (grossissement x50) (b, c et d) de la paume d'un gant usagé du modèle Showa-Best Atlas 377, utilisé par l'entreprise A – secteur Screws.	61
Figure 22	Images par microscopie optique (grossissement x50) de la paume d'un gant neuf (a) et d'un gant usagé (b) du modèle ATG MaxiDry 56-426.....	61
Figure 23	Photo (a) et image par microscopie optique (grossissement x50) (b) de la paume d'un gant usagé du modèle ATG MaxiChem 56-633.	62
Figure 24	Moyennes (et écarts types) de l'appréciation des gants selon différents aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort, donnée par l'ensemble des travailleurs des trois secteurs. Plus la cote se rapproche de la valeur 3, plus le gant a été apprécié.	64

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ASTM	ASTM International (anciennement connu sous le nom de American Society for Testing and Materials)
A_{mem}	Surface exposée d'une membrane
a_i	Constante de la régression
Butyle	Caoutchouc butyle
C_A	Pourcentage de carbone aromatique
C_P	Pourcentage de carbone paraffinique
C_N	Pourcentage de carbone naphénique
D	Coefficient de diffusion
d	Densité
CNESST	Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail
ÉTS	École de technologie supérieure
e	Épaisseur de la membrane ou de l'échantillon
ε	Erreur du modèle
$F_{liq-lid}$	Force d'attraction liquide-liquide
$F_{liq-élas}$	Force d'attraction liquide-élastique
$F_{élas-élas}$	Force d'attraction élastique-élastique
F_{20}	Résistance à la coupure, soit la force requise pour couper un matériau avec une course de coupure normalisée de 20 mm
F	Résistance à la perforation, soit la moyenne des forces maximales pour percer un matériau avec une sonde à bout arrondi
G	Gonflement
HSP	Paramètre de solubilité de Hansen
IRSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
ISO	International Organization for Standardization
J	Flux du pénétrant
Latex	Caoutchouc latex
M_t	Masse de l'échantillon au moment t
M_∞	Masse de l'échantillon à l'état équilibre
Nitrile (ou Ni)	Caoutchouc butadiène-acrylonitrile
n	Indice de réfraction
ΔP	Différence de pression entre les deux faces d'une membrane
P_e	Coefficient de perméabilité
PVC	Polyvinyle de chlorure
PU	Polyuréthane
$Q_{permé}$	Quantité de perméant

RI	Constante de réfraction (refractivity intercept)
T	Température
t	Temps d'exposition
TGA	Analyse thermogravimétrique
S	Coefficient de solubilité du liquide dans la membrane polymère
V_{tot}	Volume total
VGC	Constante viscosité-gravité
δ_{liq}	Paramètre de solubilité d'un liquide
δ_{d}	Paramètre de solubilité associé aux forces de dispersion
δ_{p}	Paramètre de solubilité associé aux interactions polaires
δ_{h}	Paramètre de solubilité associé aux interactions hydrogènes
λ	Allongement du matériau

1. INTRODUCTION

1.1 Importance du projet et de la problématique en santé et en sécurité au travail

Au Québec, le nombre d'accidents du travail a diminué au cours des 30 dernières années, notamment grâce à l'amélioration des règlements de sécurité du gouvernement. Cependant, aujourd'hui, un travailleur y est blessé ou mutilé toutes les six minutes (CSST, 2014). Les blessures aux mains représentaient 14,9 % de l'ensemble des lésions indemnisées par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST)¹ du Québec, en 2012 (CSST, 2012). Cette proportion était de 15,1 % en 2010 (Lamarche *et al.*, 2010) et environ 19 % pour la période 2003-2005 (Dolez *et al.*, 2011). Dans certains secteurs d'activité, notamment ceux de l'usinage du métal et de la préparation alimentaire, cette proportion peut même dépasser 30 % des lésions indemnisées et plus de la moitié de ces blessures aux mains sont des lacérations de type coupure/piqûre (CSST, 2008).

Le port de gants de protection peut contribuer à réduire de 60 à 70 % les risques de coupure et de perforation (Sorock *et al.*, 2004a, 2004b). Des méthodes d'essai normalisées ont été développées afin de caractériser la résistance offerte par les gants de protection contre les différents types d'agresseurs mécaniques. En particulier, les méthodes ASTM F1790-05 (ASTM F1790, 2005, maintenant scindé en deux : ASTM F1790M, 2014 et ASTM F2992M, 2015) et ISO 13997:1999 (ISO 13997, 1999) relatives à la mesure de la résistance à la coupure des matériaux de protection, ainsi que la méthode ASTM F1342-05 (ASTM F1342, 2005) concernant la mesure de la résistance à la perforation, ont été influencées par des travaux réalisés à l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) (Lara, 1992; Lara *et al.*, 1995). Cependant, même en portant des gants de protection, des lésions aux mains peuvent se produire. Ainsi, une étude réalisée par l'U.S. Bureau of Labor Statistics dans le secteur alimentaire, où une grande prévalence de lacérations existe, a montré que 30 % des travailleurs ayant subi des blessures aux mains portaient des gants (Lipsky, 2004).

La présence de risques mécaniques en milieu de travail peut être accompagnée de celle de divers contaminants industriels, par exemple des huiles et des fluides de coupe. Cette situation concerne notamment l'usinage du métal (Tellier *et al.*, 1999). Ainsi, l'enquête nationale sur l'exposition professionnelle menée en 1981-1982 par le National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH) aux États-Unis a évalué que 1,2 million de travailleurs étaient potentiellement exposés aux fluides utilisés pour l'usinage du métal (Xu et Que Hee, 2006). Or, ces huiles peuvent causer une réduction des propriétés de résistance des gants aux agresseurs mécaniques. Ces changements de propriétés ont été mis en évidence dans une étude portant sur la résistance à la coupure de gants en néoprène exposés à un fluide de coupe (Vu-Khanh *et al.*, 2005; Vu, 2004), ainsi que dans une étude préliminaire sur divers gants réalisée par Dolez *et al.* en 2011. Lorsque la perte de propriétés des matériaux des gants n'est pas détectable à l'œil nu, ce phénomène peut générer un faux sentiment de sécurité chez les utilisateurs de ces équipements de protection.

¹ La Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) est devenue la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), le 1^{er} janvier 2016.

La dégradation des matériaux de gants, issue du contact avec des fluides de coupe ou des activités d'usinage (usure par abrasion des gants, apparition de trous), peut augmenter la présence de fluides de coupe à l'intérieur des gants et ainsi hausser les risques potentiels de lésions cutanées. Il a été montré que le contact répété et prolongé avec les fluides de coupe peut causer diverses dermatoses professionnelles telles que la dermatite allergique et orthoergique, l'acné chlorique et la mélanose (CSST, 1984). Ces fluides de coupe contiennent de nombreux additifs afin d'améliorer la performance d'usinage et donner des propriétés particulières pour des applications spécifiques. Cependant, ces additifs sont susceptibles de causer des dangers pour la santé des travailleurs. Le formaldéhyde et les phénols présents dans les fluides de coupe sont bien connus comme étant des agents irritants et allergisants. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), potentiellement responsables de cancers cutanés (Crepay, 2000), peuvent également être présents dans les huiles en tant que produits de dégradation (chauffage de l'huile et remplacement peu fréquent). Il a été rapporté qu'il y avait environ 27 % de métallurgistes touchés par une dermatite sévère et étendue à la suite de contacts répétés avec les fluides de coupe (De Boer *et al.*, 1989). Dans une autre étude, Sprince *et al.* (1996) ont montré qu'il y avait une prévalence de dermatites de contact de 27,2 % parmi 158 opérateurs de machine dans le secteur de la production automobile. Mirabelli *et al.* (2009) ont conduit une étude sur l'effet des fluides de coupe sur les symptômes cutanés persistants en se basant sur les données d'enquêtes provenant de l'ECRHS II (European Community Respiratory Health Survey II) et de la SAPALDIA 2 (Swiss Cohort Study on Air Pollution and Lung and Heart Disease in Adults 2). Les résultats indiquent que des symptômes cutanés ont été observés sur environ 10 % des travailleurs dans les secteurs de l'usinage du métal lorsqu'ils étaient en contact prolongé avec les fluides de coupe ou des agents de dégraissage (Mirabelli *et al.*, 2009).

Lors d'une étude préliminaire réalisée conjointement par la Chaire de recherche en matériaux et équipements de protection utilisés en santé et sécurité du travail (ÉTS) et l'IRSST, il a été montré que l'exposition aux huiles utilisées en usinage du métal, les traitements de nettoyage et l'usure en milieu de travail avaient un impact sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure de certains modèles de gants de protection (Dolez *et al.*, 2011). Dans certains cas, des diminutions de la résistance à la coupure et à la perforation pouvant aller jusqu'à 38 et 59 % respectivement ont été observées à cause de la dégradation du matériau des gants et de l'effet lubrifiant des huiles. Une diminution de la résistance aux deux types d'agresseurs mécaniques allant jusqu'à 34 % a été observée pour des gants en nitrile supporté (Dolez *et al.*, 2011). Cependant, avec un nombre d'essais et de types de gants limités, les mécanismes en jeu dans le processus de contamination n'ont pas été clairement identifiés. Il est nécessaire de poursuivre les travaux de recherche pour pouvoir déterminer les solutions optimales permettant de minimiser les risques évoqués plus haut.

1.2 État des connaissances scientifiques

1.2.1 La résistance mécanique des gants de protection

Des progrès importants ont été réalisés au cours des dernières années, en particulier grâce au leadership de l'IRSST, pour la mise en place et l'amélioration des méthodes d'essai normalisées pour mesurer la résistance des matériaux de protection aux agresseurs

mécaniques, notamment à la coupure (ASTM F1790, 2005; ASTM F2992M, 2015; ISO 13997, 1999) et à la perforation (ASTM F1342, 2005). Les recherches ont également permis d'améliorer la compréhension des phénomènes en jeu. Plus particulièrement, l'importance du phénomène de friction dans le cas de la coupure par glissement a été mise en évidence avec les caoutchoucs (Vu-Khanh *et al.*, 2005; Vu, 2004). La friction comporte deux composantes qui ont des effets opposés sur la résistance à la coupure. L'une est due au frottement des surfaces latérales de la lame et l'autre est liée à la friction du bord tranchant. Dans le cas de la perforation, il a été montré que le paramètre contrôlant le processus pour les caoutchoucs est le taux de déformation maximal du matériau, qui est une propriété intrinsèque de celui-ci (Nguyen *et al.*, 2007).

Cependant, ces méthodes d'essai normalisées ne prennent pas en compte la présence simultanée des agresseurs mécaniques et des contaminants industriels; les tests de résistance aux agresseurs mécaniques étant réalisés sur des gants neufs. Par ailleurs, peu de travaux traitent de ce sujet dans la littérature scientifique et technique. Quelques études rapportent des résultats sur l'interaction des huiles et des graisses avec des gants de protection faits de caoutchouc naturel, de néoprène, de nitrile et de vinyle (Xu et Que Hee, 2007, 2008; Forsberg *et al.*, 1986). Néanmoins, elles se sont uniquement intéressées à l'aspect protection contre les risques chimiques en mesurant la perméation et le gonflement associés aux contaminants. Aucune n'a examiné l'effet de ces produits sur la résistance mécanique des matériaux de gants de protection.

Des informations sur le comportement des matériaux des gants face aux agresseurs mécaniques et aux contaminants industriels peuvent par ailleurs être extraites de travaux réalisés sur différents types de polymères. Il a été montré que le contact avec des huiles peut modifier certaines propriétés des caoutchoucs telles que la dureté (Tasaka *et al.*, 1999; Xu et Que Hee, 2010), la résistance en tension (Ogorodnika et Sinitsyn, 1982; Magryta et coll, 2006; Sarser et Roter, 1986; Xu et Que Hee, 2010) et l'allongement à la rupture (Tasaka *et al.*, 1999; Bertram et Brandt, 1972). Ces modifications dépendent à la fois de la nature des contaminants et des caoutchoucs. Ces changements de propriétés ont été attribués à une dégradation chimique du polymère (Tasaka *et al.*, 1999; Sarser et Roter, 1986) ou à sa plastification (Tasaka *et al.*, 1999) causée par la pénétration des composés à l'intérieur de la matrice polymère. Dans le cas des élastomères chargés, des décohésions de l'interface matrice-renfort ont également été observées (Magryta *et al.*, 2006). Des mesures réalisées sur le néoprène montrent une réduction de la résistance à la coupure en cas de contamination par de l'huile de coupe et de l'eau savonneuse (Vu-Khanh *et al.*, 2005; Vu, 2004). Ce phénomène a été attribué à la réduction de l'énergie de friction dans le processus de coupure.

Finalement, il est important de mentionner que ces effets sur les propriétés mécaniques des matériaux de gants à la suite d'un contact avec les huiles ne sont généralement pas associés à un changement de coloration du polymère (Xu et Que Hee, 2006, 2008). Ceci rend difficile la détection visuelle du processus pour l'utilisateur. Les mécanismes de rupture des gants de protection face aux risques mécaniques ont également été étudiés et des modèles analytiques décrivant le mécanisme de la rupture des matériaux de gant ont été proposés (Nguyen *et al.*, 2009). Cependant, l'ajustement de ces mécanismes en présence de contaminants n'a pas encore été discuté dans la littérature. La présence des contaminants peut produire des

modifications importantes des forces (glissement, abrasion...) et donc de la résistance mécanique des matériaux.

1.2.2 La résistance chimique des gants de protection aux fluides de coupe

1.2.2.1 Fluides de coupe

Les fluides de coupe servent principalement à lubrifier et à refroidir des pièces et des outils métalliques lors de l'usinage du métal (David, 2008). Il existe plusieurs méthodes pour classer les fluides de coupe en fonction de leur composition chimique. De manière générale, ils se classent en deux grandes familles. D'une part, les huiles entières, qui ne contiennent généralement pas d'eau, servent à lubrifier des pièces. Ces huiles sont employées pour l'alésage, le filetage, le taillage des engrenages, etc. D'autre part, les fluides aqueux, utilisés sous la forme de microémulsions ou de solutions d'huile dans l'eau, servent au refroidissement des pièces dans des procédés d'usinage. On y recourt pour le rabotage, le fraisage, le sciage, le tournage et le tronçonnage (Tonner, 1999). Comme autre méthode de classement, les fluides de coupe peuvent être regroupés en quatre catégories, soit les huiles entières, les huiles solubles, les huiles synthétiques et les huiles semi-synthétiques (NIOSH, 1998).

Les fluides de coupe doivent aussi protéger contre la corrosion, évacuer les copeaux générés, prolonger la durée de vie des machines et des outils de coupe, ainsi que diminuer la consommation d'énergie des machines. Les fluides de coupe sont utilisés dans les domaines de la métallurgie, de l'usinage des métaux, de la construction (décoffrage du béton) et de l'industrie textile (Technologies propres et sobres, 1996). Ce sont des liquides plus ou moins visqueux, obtenus à partir d'un produit de base et de nombreux additifs. Le produit de base consiste en des huiles minérales (issues des distillats du pétrole), des huiles synthétiques ou végétales, ou encore du mélange de plusieurs de ces produits. Les additifs, ajoutés afin d'améliorer la performance d'usinage des fluides de coupe, peuvent être des émulsifiants, des inhibiteurs de corrosion, des agents extrême pression et antiusure, des agents tampons alcalins, des antimoussants, des tensioactifs et des biocides (Tonner, 1999). Une grande partie de ces additifs sont toxiques pour l'homme et son environnement à cause de la présence de phénols et d'éléments comme le chlore ou le bore (David, 2008; Forsberg *et al.*, 1986).

1.2.2.2 Évaluation de la résistance chimique

Les élastomères, les polyuréthanes (PU) et le polychlorure de vinyle (PVC) sont souvent utilisés comme matériaux d'enduction pour les gants en raison de leurs propriétés imperméables et de leur souplesse. Cependant, aucun polymère ne garantit une protection universelle et illimitée dans le temps. La résistance d'un polymère dépend de la compatibilité de ce dernier avec les solvants. Généralement, la compatibilité des polymères avec différents solvants peut être abordée de deux manières. Dans un cas, on souhaite trouver un solvant capable de dissoudre ou de solubiliser un polymère (revêtements de surface, peintures) et, dans l'autre, on souhaite que le polymère soit résistant aux solvants (choix de matériaux de gants de protection chimique, de matériaux de contenants/réservoirs de produits chimiques).

La règle du pouce « like dissolves like », ou « like seeks like » s'applique à ces cas. Hildebrand et Scott (1950) ont, pour la première fois, employé le terme « paramètre de solubilité », noté « δ », relié à l'énergie de cohésion d'un solvant, pour tenter d'expliquer cette compatibilité. Ce paramètre est déterminé expérimentalement et a, pour unités, $\text{cal}^{1/2}/\text{cm}^{3/2}$. Tout liquide ou élastomère en possède un. Prenons l'exemple d'un mélange de deux espèces chimiques, soit un liquide et un polymère, ayant chacune leurs valeurs de paramètre de solubilité. Pour que les deux espèces puissent coexister, c'est-à-dire que l'élastomère absorbe le liquide, il faut qu'il y ait affinité entre les deux. Ainsi, il faut que la force d'attraction entre les différentes molécules ($F_{\text{liq-élas}}$) soit supérieure aux forces d'attraction entre les molécules d'une même espèce ($F_{\text{liq-liq}}$ pour la force moyenne entre les molécules liquides, et $F_{\text{élas-élas}}$ pour la force moyenne entre les molécules d'élastomères) (Figure 1a). Ainsi, un élastomère absorbera plus un liquide avec un paramètre de solubilité proche du sien. L'élastomère sera alors gonflé par le liquide. À l'opposé, plus la différence entre les paramètres de solubilité de l'élastomère et du liquide est grande, moins le polymère gonflera (Figure 1b). Par conséquent, on peut prévoir si un élastomère va gonfler au contact d'un liquide si les paramètres de solubilité de ces deux espèces sont connus (Brydson, 1999).

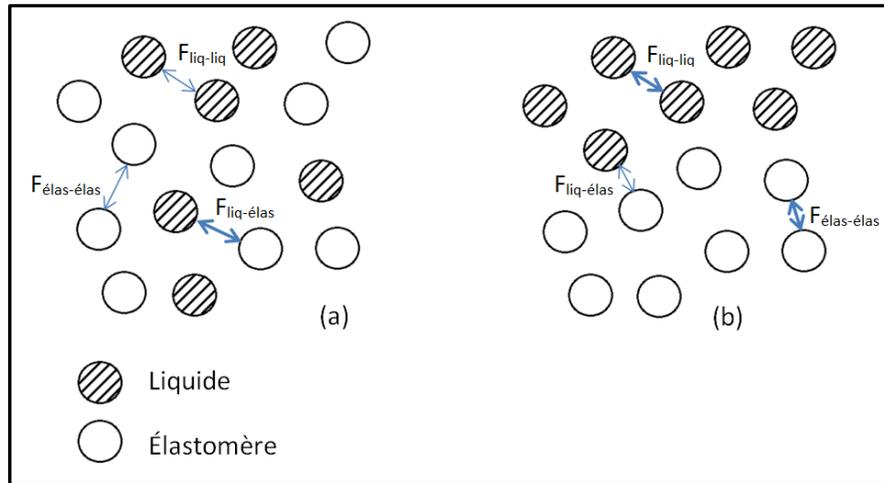


Figure 1 Représentation schématique des systèmes compatibles et incompatibles : (a) mélange compatible, car $F_{\text{liq-élas}} \geq F_{\text{élas-élas}}$ et $F_{\text{liq-liq}}$, le polymère gonflera; (b) mélange incompatible, car $F_{\text{liq-liq}}$ ou $F_{\text{élas-élas}} \geq F_{\text{liq-élas}}$, le polymère ne gonflera pas (tirée de Brydson, 1999).

Hansen (2007) a, par la suite, explicité le paramètre de solubilité en fonction de trois composantes appelées paramètres de solubilité de Hansen (HSP), qui traduisent :

- un paramètre de solubilité associé aux forces de dispersion (interactions non polaires), δ_d ;
- un paramètre de solubilité associé aux forces polaires (interactions dipôle permanent-dipôle permanent), δ_p . Le concept de polarité ici ne se restreint pas à la solubilité dans l'eau comme indicateur;
- un paramètre de solubilité associé aux liaisons hydrogènes (paramètre d'échange d'électrons), δ_h .

La théorie des HSP et les applications potentielles sont résumées dans un livre récent, dont la rédaction a été coordonnée par Hansen (2007). Plusieurs auteurs ont utilisé cette approche afin de développer des modèles permettant de prédire la résistance des polymères aux solvants. Lara *et al.* (2011) ont développé un modèle pour la prédiction de la résistance chimique de cinq matériaux polymères soit le nitrile, le Viton®, le latex, le néoprène et le butyle, en utilisant des données de gonflement, de perméation et l'approche des paramètres de solubilité de Hansen. Ce modèle est applicable non seulement à des solvants organiques seuls, mais aussi à des mélanges de solvants courants.

Cependant, la méthode de Hansen présente des limitations pour certaines applications, en particulier dans le cas des fluides de coupe dont la composition exacte est inconnue, ce qui rend impossibles les calculs des paramètres. De plus, les liaisons entre les molécules dans ces mélanges sont plus subtiles que les trois paramètres suggérés par Hansen. À titre d'exemple, les interactions électrostatiques ne sont pas prises en compte dans les calculs de son modèle. Jusqu'à présent, aucune information n'est publiée sur les fluides de coupe à cause de la complexité de leurs compositions.

Il existe néanmoins deux autres méthodes, dites classiques, qui pourraient éventuellement permettre d'évaluer la résistance chimique des polymères aux solvants.

La première méthode, couramment utilisée afin d'évaluer la résistance chimique d'un polymère, est la mesure de la perméation des produits chimiques à travers une membrane polymère. Pour les liquides ou les gaz, il est possible d'utiliser la loi de Fick afin de calculer le flux du pénétrant, J , selon l'équation suivante (Perron *et al.*, 2002; McKeen *et al.*, 2012) :

$$J = D \cdot S \cdot \frac{\Delta P}{e} \qquad \text{Équation 1}$$

où D est le coefficient de diffusion ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$), S est le coefficient de solubilité du liquide dans la membrane polymère ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$), ΔP est la différence de pression des deux faces de la membrane (Pa), et e est l'épaisseur de la membrane (cm). Le coefficient de perméabilité P_e ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) est souvent utilisé pour évaluer la capacité d'une membrane polymère à transporter un liquide (ou un gaz). Cette grandeur physique est décrite par l'équation suivante (Perron *et al.*, 2002; McKeen, 2012) :

$$P_e = D \cdot S = \frac{Q_{\text{permé}} \cdot e}{A_{\text{mem}} \cdot t \cdot \Delta P} \quad \text{Équation 2}$$

où $Q_{\text{permé}}$ est la quantité de perméant (mol), A_{mem} est la surface de la membrane (cm^2), t est le temps (min) et ΔP est la différence de pression en amont et en aval (Pa). Cette équation peut être simplifiée sans tenir compte de la différence de pression par le calcul du taux de perméation ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) (Perron *et al.*, 2002; McKeen *et al.*, 2012) :

$$\text{Taux de perméation} = P_e \cdot \Delta P = \frac{Q_{\text{permé}} \cdot e}{A_{\text{mem}} \cdot t} \quad \text{Équation 3}$$

Il existe plusieurs méthodes normalisées pour mesurer le taux de perméation (EN 16523-1, 2015; ISO 6529, 2013; ASTM F739, 2012). Une série de travaux de recherche traitant de l'effet des fluides de coupe sur les propriétés des gants jetables en nitrile, en latex, en néoprène et en vinyle a été rapportée dans la littérature (Xu et Que Hee, 2006, 2008). Ces travaux avaient pour objet l'étude des phénomènes de gonflement et de perméabilité des gants jetables lorsqu'ils sont en contact avec certains fluides de coupe incluant les huiles entières, les huiles solubles, les huiles synthétiques et les huiles semi-synthétiques. Quelques informations intéressantes sur les changements des propriétés physico-chimiques et des conseils pour le choix d'un gant efficace dans certains milieux de travail ont été proposés. Il a été rapporté que les gants en caoutchouc nitrile offrent une meilleure résistance à la perméation que les gants en néoprène, en caoutchouc naturel ou en vinyle (Xu et Que Hee, 2007; Forsberg *et al.*, 1986). Ces travaux suggèrent d'ailleurs le port de gants jetables en nitrile dans le cas de contact accidentel avec les fluides de coupe à base d'huile minérale en absence de composés cancérigènes connus pour une période allant jusqu'à 30 minutes (Xu et Que Hee, 2006). Cependant, le mécanisme de ces changements de propriétés de gants n'a pas été discuté à cause de la complexité des compositions des fluides de coupe et de la difficulté de déterminer les effets dominants de ces phénomènes (Xu et Que Hee, 2006, 2008, 2010).

La mesure du taux de perméation du mélange des composés chimiques à travers une membrane polymère est complexe et différente de celle d'un composé chimique pur. Il faut d'abord développer une méthode capable de collecter les substances étudiées à travers la membrane polymère, puis d'analyser quantitativement ces composés dans le milieu de collection. Vo Dinh et White (1987) ont conçu une méthode simple et relativement précise en utilisant la spectroscopie de phosphorescence à température ambiante appelée RTP (*Room Temperature Phosphorescence*) pour détecter la perméation des composés organiques contenant des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à travers des vêtements de protection. Le principe de cette technique est basé sur le fait que les HAP sont très sensibles à des excitations par des rayons UV (entre 200-400 nm). En se basant sur la différence

d'absorption des UV d'un échantillon et celles des bases de données de spectre, il est possible de déduire la quantité de composés organiques ayant traversé la membrane polymère. Cependant, cette technique est inutile dans le cas de composés qui n'absorbent pas les longueurs d'onde des rayonnements UV. De plus, grâce à des techniques de raffinage améliorées, les HAP sont rarement présents dans la formulation des fluides de coupe. Irzmańska et Dynska-Kukulka (2012) ont récemment proposé une nouvelle technique pour étudier la perméabilité des huiles de référence ASTM (IRM 903) à travers des gants de protection en néoprène, en nitrile et en PU. Ils ont développé des cellules de perméation adaptées aux normes polonaises PN-EN 374-3:2005 (PN-EN 374-3, 2005). Cet équipement consiste en deux chambres séparées par l'échantillon à tester. Les huiles traversant les membranes vont être recueillies par un collecteur solide en fibre de verre, puis dissoutes dans des solvants appropriés (très souvent des solvants organiques C₁₀-C₄₀). Ces mélanges sont ensuite analysés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse pour calculer la masse des huiles ayant traversé la membrane par unité de temps. Ces données servent au calcul du taux de perméation (Irzmańska et Dynska-Kukulka, 2012).

Il existe une deuxième méthode pour estimer la résistance chimique des gants de protection, soit la détermination du taux de gonflement des matériaux des gants lorsqu'ils sont en contact avec des fluides de coupe de composition complexe (Xu et Que Hee, 2008). En effet, les changements de propriétés d'un polymère lorsqu'il est en contact avec des fluides de coupe sont souvent liés au phénomène de gonflement. Plus ce taux de gonflement est important, moins l'élastomère est considéré résistant. Le gonflement résulte de la pénétration d'un liquide dans un polymère, fruit de l'absorption du liquide et de sa diffusion dans ce matériau. Les molécules de fluide repoussent les molécules de polymère et se mêlent dans la matrice polymérique, entraînant un gonflement. L'absorption de fluide en quantité suffisante à la suite d'un gonflement peut affaiblir les liaisons chimiques du polymère et diminuer ainsi ses propriétés mécaniques. Le gonflement d'un élastomère par un solvant est un phénomène très complexe, constitué de processus physiques et chimiques qui tiennent compte de paramètres tels que la structure des chaînes moléculaires, la mobilité de ces chaînes et l'énergie mécanique créée lors de la pénétration du solvant.

Concernant les matériaux de gants, les caoutchoucs en contact avec certaines huiles et graisses peuvent donc subir des modifications de poids et de volume (Xu et Que Hee, 2006, 2008, 2010; Ogorodnikova et Sinitsyn, 1982; Dunn, 1985; Myntti, 2003; Magryta *et al.*, 2006). Ce gonflement varie fortement en fonction du type de caoutchouc et du type de contaminant, ainsi que d'autres paramètres comme la durée du contact et la température. De manière générale, le caoutchouc nitrile présente des taux de gonflement relativement faibles, après une immersion dans des huiles à moteur et dans des fluides pour l'usinage du métal, grâce à sa nature polaire (Xu et Que Hee, 2006, 2008; Dunn, 1985; Myntti, 2003). Il a été observé que la résistance aux agresseurs mécaniques d'un mélange de polymères semi-cristallins diminuait significativement après immersion dans quelques types d'huiles en raison de la destruction des chaînes de polymères et des phénomènes de décohésion à l'interface des mélanges. Cela a conduit à une destruction des réseaux réticulés des mélanges (Michihisa *et al.*, 1999). Une autre étude a montré que des échantillons en latex ont été considérablement gonflés lorsqu'ils ont été mis en contact avec des huiles et des graisses (Gunnar *et al.*, 2005). Lorsque des gants de protection sont immergés dans des contaminants industriels, deux phénomènes peuvent

coexister. L'extraction des additifs de la matrice polymère et la diffusion des contaminants dans le polymère. L'amplitude ainsi que la nature de ces changements dépendent, entre autres, du type de polymère et du contaminant.

1.3 Objectifs

L'objectif principal de ce travail est de caractériser l'effet de contaminants de types « fluides de coupe », en conditions contrôlées en laboratoire et en milieu de travail, sur la résistance mécanique des gants de protection. Plus spécifiquement, l'étude vise à :

- Mettre en évidence un changement possible du niveau de protection des gants lié à une contamination en laboratoire, par des mesures de résistance à la perforation et à la coupure, sur un nombre limité de couples « gants/fluides de coupe »;
- Évaluer de manière exploratoire l'effet du nettoyage sur les gants, dans l'éventualité où ils seraient réutilisés;
- Déterminer les gants de protection appropriés pour des cas particuliers au secteur de l'usinage du métal (postes de travail ciblés dans des entreprises spécifiques), grâce notamment à des essais de gonflement de polymères et des échanges avec les parties prenantes.
- Soumettre ce choix de gants à un programme d'usure en milieu de travail chez les entreprises ciblées, et déterminer par la suite leur résistance mécanique résiduelle et leur niveau d'acceptation par les travailleurs.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Méthodologie générale

Afin d'atteindre les objectifs prévus, une méthodologie a été établie par les chercheurs, en collaboration avec le comité de suivi, et comprend les étapes suivantes :

- 1) Choix des entreprises partenaires de l'étude, des postes de travail concernés par la problématique, ainsi que des gants et des contaminants utilisés pour les postes ciblés;
- 2) Mise en évidence, en laboratoire, de l'effet des contaminants sur la résistance résiduelle des gants à la coupure et à la perforation avec différents couples gants/contaminants;
- 3) Détermination des meilleurs polymères d'enduction des gants aux fluides de coupe utilisés lors de l'usinage du métal;
- 4) Analyse de l'effet de différentes conditions de nettoyage sur la résistance résiduelle des gants à la coupure et à la perforation avec et sans prétraitement de contamination par des huiles;
- 5) Sélection de gants potentiels selon les résultats obtenus lors de l'étape 3, et réalisation du programme d'usure pour étudier l'effet d'une utilisation normale en milieu de travail sur la performance des gants.

1) Le choix des entreprises partenaires, des catégories de fluides de coupe et des gants utilisés a été fait en collaboration avec le comité de suivi de cette étude. La sélection des entreprises a été guidée par leur capacité à documenter l'historique d'utilisation des gants et leur intérêt à participer au programme d'usure. Elles devaient également fournir les gants et les fluides de coupe utilisés dans leurs activités. Deux entreprises du secteur de l'usinage du métal ont été ciblées pour participer à l'étude. L'entreprise A fabrique des composantes électriques à partir de feuilles d'acier et de barres de métal. L'entreprise B fabrique des conduits d'évacuation à partir de feuilles de métal. Des visites dans les deux entreprises ont été effectuées pour connaître les postes de travail et cibler ceux pour lesquels il y avait, à la fois, une exposition aux risques mécaniques et la présence de contaminants. Les représentants des entreprises ont transmis à l'équipe l'information nécessaire concernant les gants et les huiles utilisés dans les postes de travail ciblés.

2) L'examen de l'effet des fluides de coupe sur la résistance mécanique des gants en laboratoire a été effectué sur les couples gant/contaminant identifiés dans les milieux de travail ciblés. Trois durées de contamination (0 h, 6 h et 24 h) ont été étudiées afin de permettre une analyse en détail de l'évolution des propriétés mécaniques dans le temps.

3) La détermination des meilleurs polymères d'enduction des gants aux fluides de coupe a été faite par l'analyse du comportement de gonflement menée sur six polymères. Le nitrile (Ni), le polyuréthane (PU), le polychlorure de vinyle (PVC), le néoprène, le butyle et le latex ont été exposés à 10 huiles, incluant les huiles du terrain, des huiles étalons « ASTM » partiellement caractérisées et quelques huiles spécifiques. Une exploration des données (data mining) a également été réalisée pour tenter d'élargir la portée des résultats observés.

4) L'analyse de l'effet de différentes conditions de nettoyage sur la résistance résiduelle des gants aux agresseurs mécaniques a également été réalisée. Les gants neufs, les gants contaminés en laboratoire et les gants usagés ont été nettoyés selon deux procédures recommandées par des fabricants de détergents et des nettoyeurs de vêtements, tout en respectant les recommandations des fabricants de gants au Québec (Figure 2).

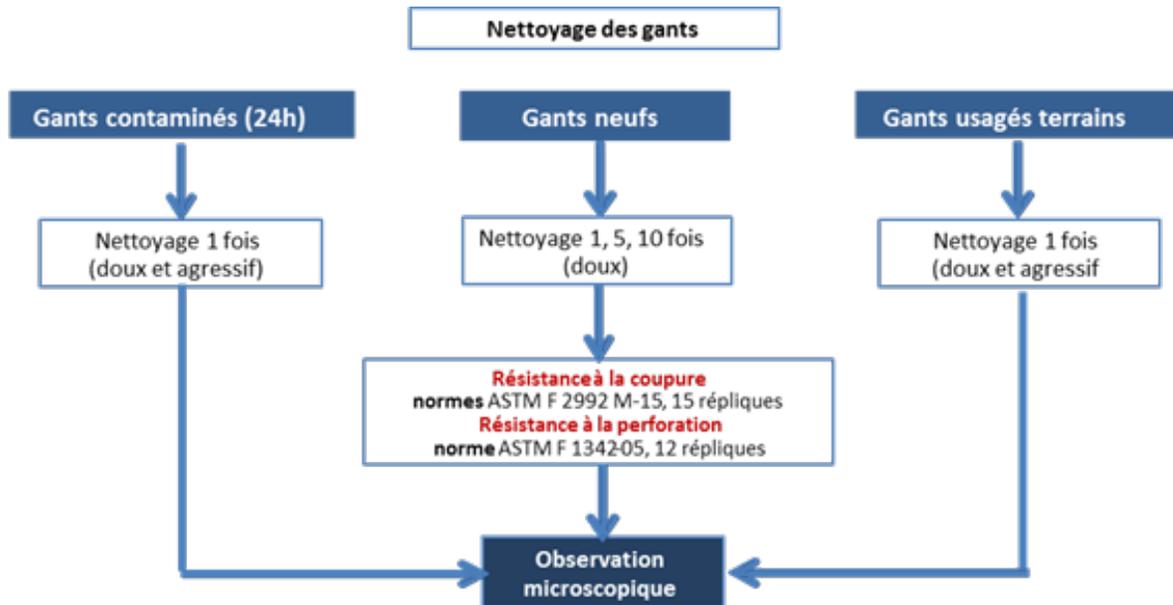


Figure 2 Schéma représentatif des essais de nettoyage des gants.

5) La sélection de gants de protection potentiels pour les essais d'usure en milieu de travail a été basée à la fois sur les résultats de contamination des polymères en laboratoire par des huiles (étape 3), sur la résistance à la coupure et à la perforation des gants neufs, ainsi que sur des considérations concernant la fonctionnalité des gants pour les postes de travail ciblés, obtenues à la suite de quelques rencontres avec les représentants des entreprises partenaires. Après avoir sélectionné les gants pouvant potentiellement répondre aux besoins de protection et de fonctionnalité, un programme d'usure en milieu de travail a été réalisé. Ce programme d'usure a consisté à vérifier auprès des travailleurs, à l'aide d'un questionnaire, si le choix des gants répondait bien à leurs besoins, ainsi qu'à mesurer la résistance à la coupure et à la perforation des gants usagés après leur utilisation et à comparer ces propriétés à celles des gants neufs.

2.2 Matériels

2.2.1 Gants de protection

Les gants à l'étude dans ce projet se divisent en deux catégories :

- Les gants en cours d'utilisation chez les entreprises partenaires de l'étude, à des postes de travail où les risques mécaniques sont importants et où il y a exposition aux huiles;
- Les gants potentiels, choisis selon les résultats en laboratoire sur leur résistance chimique et mécanique, et après discussions avec les représentants des entreprises partenaires. Le choix de ces gants constitue l'un des résultats de l'étude et sera présenté à la sous-section 3.3.1.

Le Tableau 1 présente la liste des gants en cours d'utilisation chez les entreprises et utilisés pour les étapes 2 et 4 de ce projet. Ce sont des produits commercialisés et fournis par les manufacturiers Showa-Best Glove, Ansell et Superior Glove Works Ltd. Ces gants sont majoritairement tissés ou tricotés avec des fibres en polymère ou en coton, et enduits d'une membrane en polymère imperméable.

Tableau 1 Caractéristiques des gants en cours d'utilisation chez les entreprises partenaires et utilisés dans l'étude

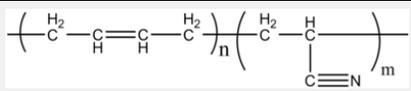
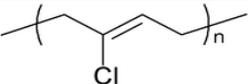
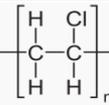
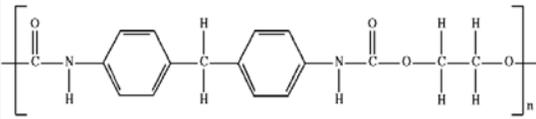
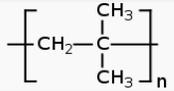
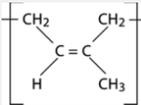
Manufacturier	Gant	$F_{20}^* \pm s$ (gf)	$F^* \pm s$ (N)	Matériau enduit	Doublure	Photos
Ansell	Hyflex 11-900	336 ± 42	10,7 ± 1,5	Ni	Nylon	
Ansell	Hyflex 11-624	445 ± 74	7,3 ± 3,9	PU	Dyneema®, Spandex® et nylon	
Ansell	Hycron 27-805	621 ± 33	29,8 ± 5,2	Ni	Coton	
Showa-Best	Nitri-Pro 7000	704 ± 82	22,1 ± 4,8	Ni	Coton	
Superior	Touch S13SXPUQ	480 ± 37	3,2 ± 0,5	PU	Dyneema®	

F_{20} : Force de coupure pour un déplacement de la lame de 20 mm;
 F : Force maximale moyenne des tests de perforation;
 s : écart-type,
 * : valeurs mesurées en laboratoire par l'équipe de recherche
 Unité de mesure de la force : 1 N = 101.9716 gf

2.2.2 Polymères d'enduction

Les gants de protection sont principalement constitués de caoutchoucs naturels ou d'homologues synthétiques. Dans ce projet, six membranes polymères, qui sont parmi les plus utilisées pour la fabrication des gants de protection, soit le nitrile, le néoprène, le PVC, le PU, le butyle et le latex, ont été retenues afin d'effectuer des tests en laboratoire. Les principales caractéristiques ainsi que la structure chimique de ces polymères sont présentées au Tableau 2. Ces polymères, fournis par McMaster-Carr Supply Co. (USA), ont des comportements différents face aux agresseurs chimiques et mécaniques.

Tableau 2 Membranes polymères testées en laboratoire

Nom du polymère	ID	Dureté (Shore A)	Épaisseur* (mm)	Formule chimique
Butadiène-acrylonitrile	Nitrile	70	1,53 ± 0,15	
Polychloroprène	Néoprène	70	1,57 ± 0,02	
Polychlorure de vinyle	PVC	80	1,57 ± 0,03	
Polyuréthane	PU	60	1,61 ± 0,03	
Polyisobutylène	Butyle	60	1,46 ± 0,01	
Caoutchouc latex	Latex	60	1,47 ± 0,16	

Note : ± indique l'écart-type

2.2.3 Contaminants

Au total, 10 contaminants huileux ont été retenus pour l'étude. Parmi ceux-ci, trois fluides de coupe utilisés par les entreprises partenaires (Lubricut 95, Milform 64SST et Superedge 6754), trois fluides de coupe disponibles et utilisés au Québec (A-9, Blasomill, Nu-clear) ainsi que quatre huiles de référence ASTM dont la composition et la caractérisation sont relativement bien connues (IRM 901, IRM 902, IRM 903 et IRM 905) (ASTM D2140-08). Le Tableau 3 précise la composition de ces huiles et les fournisseurs.

Tableau 3 Liste des contaminants utilisés pour le projet

Huile	ID	Fournisseur	Composition chimique	(%)	CAS
Huiles identifiées aux entreprises					
Lubricut 095	Lubricut	Lubri Delta inc.	Distillats de pétrole, naphthéniques, raffinage poussé Amine éthoxylé	15-40 1-5	64742-52-5 61791-26-2
Milform 64SST	Milform	Milacron canada inc.	Huiles de base Additifs	90-95 5-10	- -
Superedge 6754	Superedge	Lubri Delta inc	Huiles de base, raffinage poussé Acides carboxyliates d'ammonium Sulfonates de sodium Triéthanolamine	55-60 15-20 5-10 1-5	- - 68608-26-4- 102-71-6
Huiles étalons					
Huile IRM 901	IRM 901	Calumet lubricants Co.	Huile résiduelle de pétrole, raffiné Distillats de pétrole, paraffiniques, raffiné,	30-70 70-30	64742-62-7 64742-65-0
Huile IRM 902	IRM 902	Calumet lubricants Co.	Distillats de pétrole, naphthéniques, raffinage poussé	100	64742-52-5
Huile IRM 903	IRM 903	Calumet lubricants Co.	Distillats du pétrole, naphthéniques, raffinage poussé	100	64742-52-5
Huile IRM 905	IRM 905	Calumet lubricants Co.	Huiles pétrolières paraffiniques, raffinage poussé	100	64741-88-4
Huiles spécifiques					
A-9	A-9	Relton Corporation	Huile minérale Additifs inconnus Parfum Colorant	70 < 41 < 1 traces	64742-58-1 - - -
Blasomill 32	Blasomill 32	Blaser swisslube	Distillats du pétrole, naphthéniques, raffinage poussé Huiles d'esters Additifs	25-50 5-15 -	64742-52-5 8001-21-6 -
Nu-clear	Nu-clear	Ridgid	Huile minérale Additifs	> 95 < 5	64742-54-7 -
Note: * : CAS : Chemical Abstract Service number - : pas de données					

2.3 Méthodes

2.3.1 Contamination en laboratoire

2.3.1.1 Contamination des gants

Les gants considérés (Tableau 1) ont été exposés aux contaminants durant des périodes de 0, 6 et 24 heures. La contamination d'une durée de 0 h correspond à des gants neufs trempés dans l'huile pendant quelques secondes. La contamination a été faite selon la procédure illustrée à la Figure 3. Une mince couche de contaminant a été préparée dans un récipient, sur laquelle ont été déposés les gants, en prenant garde à ne pas laisser l'huile pénétrer à l'intérieur du gant. Seuls la paume et les doigts ont été mis en contact permanent avec le contaminant durant toute la période de contamination. Les gants contaminés ont ensuite été retirés après la durée de traitement afin de mesurer le changement des propriétés.

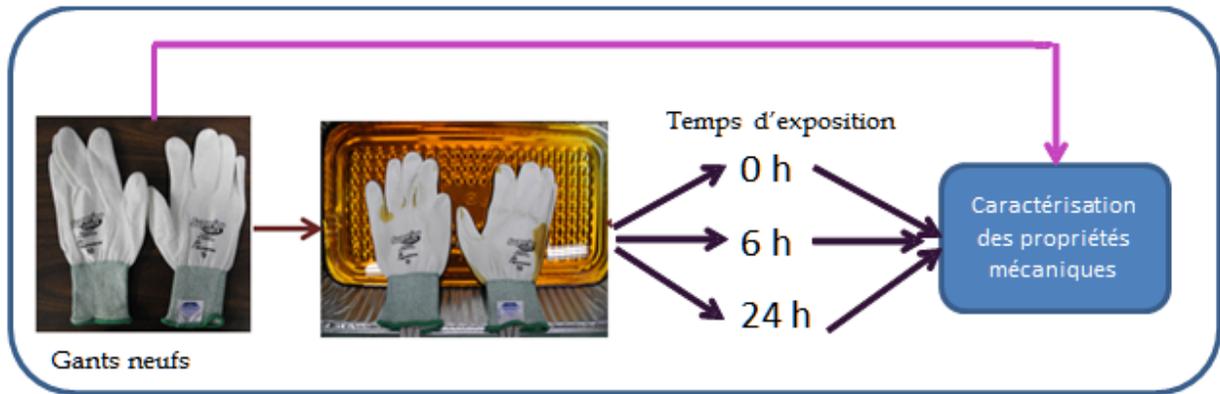


Figure 3 Procédure de contamination des gants en laboratoire.

2.3.1.2 Essais de gonflement des membranes polymères

Des échantillons de polymères, de forme rectangulaire de 25 mm x 50 mm, ont été utilisés pour faire des tests de gonflement. Chaque échantillon a été pesé à l'aide d'une balance ayant une précision de 10^{-4} g. Les échantillons ont été immergés dans un contaminant pendant des périodes déterminées, puis essuyés soigneusement avant d'être pesés de nouveau pour déterminer le changement de la masse selon la procédure illustrée à la Figure 4, adaptée de la norme ASTM D471-12 (ASTM D471, 2012). Pour chaque mesure, trois répliques ont été réalisées. Le changement de la masse (taux de gonflement), ΔM , a été calculé selon la relation décrite par l'équation 4 (ASTM D471, 2012) :

$$\Delta M (\%) = \frac{(M_2 - M_1)}{M_1} \times 100 \quad \text{Équation 4}$$

où ΔM est le taux de gonflement (%), M_1 est la masse de l'échantillon initial (g) et M_2 est la masse de l'échantillon après immersion (g).

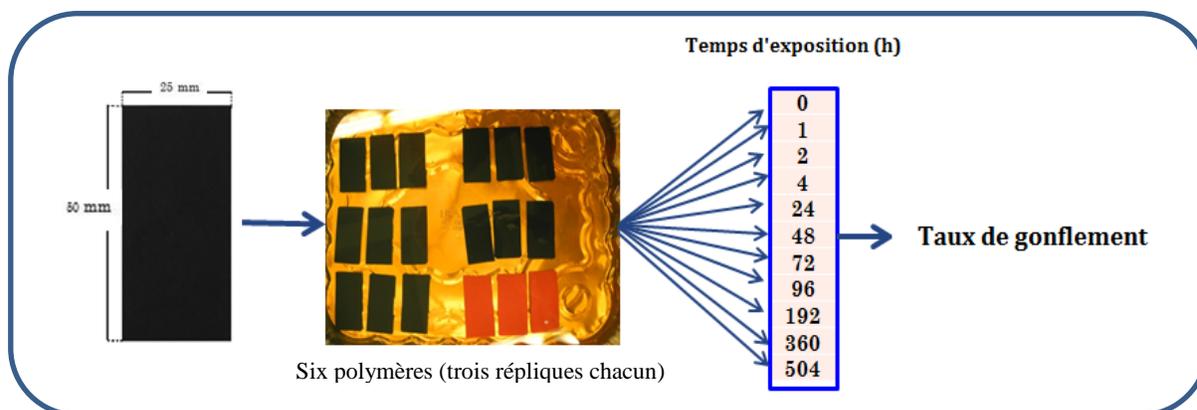


Figure 4 Procédure des tests de gonflement des polymères en laboratoire.

2.3.2 Nettoyage des gants

Afin d'étudier l'effet des traitements de nettoyage sur la résistance mécanique des gants de protection, des échantillons de gants neufs, de gants contaminés et de gants usagés provenant du milieu de travail ont été nettoyés dans une laveuse semi-industrielle en respectant les conditions proposées par un manufacturier de gants, Superior Glove², et décrites au Tableau 4. Les détergents et détachants utilisés ont été recommandés par les fabricants des produits de nettoyage professionnels. La composition chimique de ces détergent et détachant peut être trouvée dans l'annexe C.

Tableau 4 Conditions de nettoyage pour les gants de l'étude selon deux méthodes (douce et agressive)

Procédure	Méthode		Durée	Température
	Douce	Agressive		
Prétraitement	Non	Oui, avec détergent	15 min	25 °C
Lavage / dégraissage	Détergent	Détergent+ détachant	30 min	25 °C
Essorage	≈ 600 tours/min	≈ 600 tours/min	3 min	25 °C
Séchage	Naturel	Naturel	24 h	20-30 °C

L'évaluation de l'effet du nettoyage sur les gants neufs a consisté à appliquer des séries de 1, 5 et 10 nettoyages consécutifs sur des gants neufs selon la méthode douce, suivie par l'observation en microscopie optique de la surface des gants (après 1, 5 et 10 nettoyages consécutifs), ainsi que la caractérisation de la résistance résiduelle des gants à la coupure et à

² Superior Glove Works Ltd. *Glove laundering*. Disponible en ligne: <http://www.superiorglove.com/pages/wp-content/uploads/LAUNDERING-GUIDES-COLOR-1.pdf>

la perforation (après 5 et 10 nettoyages consécutifs). L'évaluation de l'effet du nettoyage sur les gants contaminés en laboratoire a consisté à tremper les gants neufs dans l'huile (Milform 64SST) pendant 24 h, à les nettoyer selon la méthode douce et à observer les changements de morphologie au microscope. L'évaluation de l'effet du nettoyage sur les gants usagés en milieu de travail a consisté à récupérer les gants dans l'entreprise B, à les nettoyer une seule fois selon les deux méthodes, douce ou agressive, et à observer les changements de morphologie par microscopie optique.

2.3.3 Caractérisation et analyses

2.3.3.1 Résistance à la coupure

Les tests de résistance à la coupure ont été réalisés selon la méthode d'essai ASTM F2992M-15 (ASTM F2992, 2015), récemment adoptée au sous-comité F23.20 de l'ASTM International et qui s'inspire des méthodes d'essai normalisées ASTM F1790-05 (ASTM F1790, 2005) et ISO 13997:1999 (ISO 13997, 1999), relatives à la coupure par tranchage. La méthode utilisée consiste à appliquer une force normale entre une lame et un échantillon, à déplacer la lame horizontalement à vitesse constante de 150 mm/min jusqu'à ce qu'elle traverse complètement l'épaisseur de l'échantillon, et à mesurer la course (mm) parcourue par la lame pour couper l'échantillon, en utilisant l'appareil TDM-100 (Produits industriels RGI, St-Jean-sur-Richelieu, Québec), comme illustré à la Figure 5. Ce test est répété pour trois différentes valeurs de force, à raison d'au moins cinq tests par force appliquée, pour un total d'au moins 15 tests. À partir de ces 15 points expérimentaux, une analyse de régression inverse des forces appliquées en fonction du logarithme en base 10 de la course de coupure normalisée est effectuée pour estimer la résistance à la coupure, définie comme étant la force requise pour couper l'échantillon avec un déplacement de la lame de 20 mm. Plus la valeur de cette force, nommée ici F_{20} , est élevée, plus la résistance du matériau à la coupure est grande. Cette régression inverse, qui permet également de calculer l'écart-type sur la valeur F_{20} (avec $\alpha=0,05$), est décrite en détail dans la norme ASTM F2992M-15 (ASTM F2992, 2015). Les échantillons, d'une dimension de 50 mm x 100 mm, ont été découpés dans la paume des gants, à un angle de $45^\circ (\pm 10^\circ)$ par rapport à l'orientation des doigts. Pour chaque modèle, les tests ont été réalisés sur au moins trois échantillons de gants. En plus d'utiliser un adhésif double-face, chaque échantillon était fixé sur le porte-échantillon à l'aide d'un support permettant l'installation de matériaux multicouches (Figure 5b) (Dolez *et al.*, 2011).

La résistance à la coupure mesurée pour une série d'échantillons neufs d'un modèle de gant peut parfois être différente de celle mesurée sur une autre série d'échantillons neufs du même modèle. En effet, les gants sont composés de matériaux hétérogènes, le tricot peut être plus serré dans un échantillon et moins dans un autre, ou l'épaisseur de l'enduit peut varier légèrement, ce qui explique en partie la fluctuation des résultats et les valeurs de F_{20} parfois différentes. Pour le programme d'usure en milieu de travail, comme les gants, *a priori* neufs, mais potentiellement différents, allaient subir une usure encore plus variable due à l'exposition aux contaminants, à l'activité de travail et au fait que cette activité soit réalisée par différents travailleurs, la méthode d'essai a été ajustée pour tenir compte de ces variabilités. Pour les gants neufs, deux ou trois séries de 15 mesures ont été réalisées par deux ou trois opérateurs sur de multiples échantillons, et l'ensemble des 30 à 45 points

expérimentaux a été utilisé pour générer la courbe de régression et trouver la valeur de F_{20} . Pour les gants usagés, chaque échantillon recueilli a été soumis à cinq à sept tests de coupure (selon la taille des gants et, conséquemment, la grandeur des échantillons), à des forces similaires à celles utilisées pour les gants neufs. Selon le nombre de travailleurs participant à l'essai des gants, un ensemble de 108 à 273 points expérimentaux a ainsi été obtenu et a servi à générer la courbe de régression pour trouver une valeur de $F_{20\text{usagé}}$.

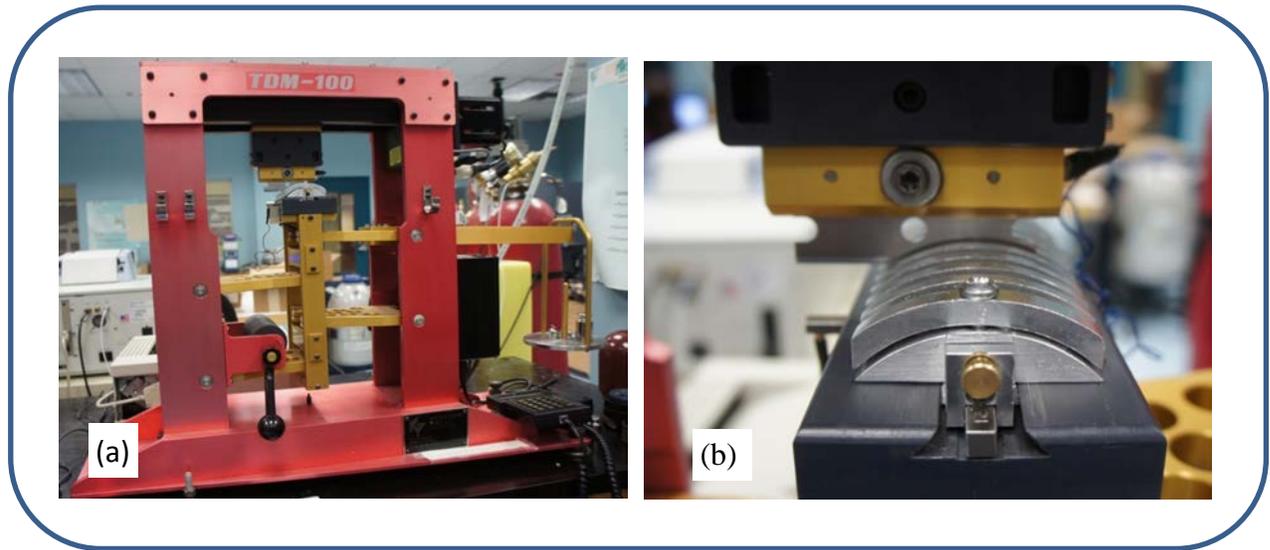


Figure 5 TDM-100 (a) et porte-échantillon (b) pour la mesure de la résistance à la coupure.

Afin de déterminer si des différences ont été détectées entre les gants traités par rapport aux gants neufs, un modèle d'analyse de la variance mixte non linéaire a été utilisé. Le modèle a pris en compte l'effet aléatoire associé aux échantillons et les effets fixes comprenant la force (traitée comme covariable), le type de gant (facteur « Gant »), l'état dans lequel se trouvait le gant (facteur « État ») ainsi que l'interaction entre le type de gant et l'état du gant. La variable réponse était le logarithme en base 10 de la course de coupure normalisée. Les données ont été agrégées par échantillon et par force appliquée sur l'échantillon. Les tests statistiques ont pris en compte le fait que le plan d'expérience n'était pas nécessairement équilibré. Ils ont été effectués au niveau de signification de 0,05. Les hypothèses sous-jacentes au modèle (homogénéité et normalité des résidus) ont été vérifiées à travers l'examen des résidus normalisés du modèle.

Pour le facteur « Gant », les niveaux étaient spécifiques d'une analyse à l'autre, selon les gants étudiés.

Pour le facteur « État », le nombre de niveaux était également spécifique d'une étude à l'autre :

- Pour l'étude de l'effet des contaminants avec différents couples gants/contaminants, le facteur « État » contenait les 10 niveaux suivants : neuf ; contaminé avec le Lubricat 95 avec une durée d'exposition de 0h, 6h et 24h ; contaminé avec le Milform 64SST avec une durée d'exposition de 0h, 6h et 24h ; et contaminé avec le Superedge 6754 avec une durée d'exposition de 0h, 6h et 24h.
- Pour l'étude de l'effet du nettoyage sur les gants usagés dans le milieu de travail, le facteur « État » comprenait les 3 niveaux suivants : neuf ; nettoyé 5 fois selon la méthode douce ; nettoyé 10 fois selon la méthode douce.
- Pour le programme d'usure en milieu de travail, le facteur « État » incluait les 2 niveaux suivants : neuf ; usagé.

2.3.3.2 Résistance à la perforation

Les tests de perforation sont réalisés selon la méthode d'essai normalisée ASTM F1342-05 (ASTM F1342, 2005). Selon cette méthode, la résistance à la perforation est la force maximale nécessaire pour trouer un matériau par une sonde normalisée à une vitesse de 500 mm/min. La sonde utilisée est de type B, soit une sonde cylindrique de 1 mm de diamètre à bout arrondi.

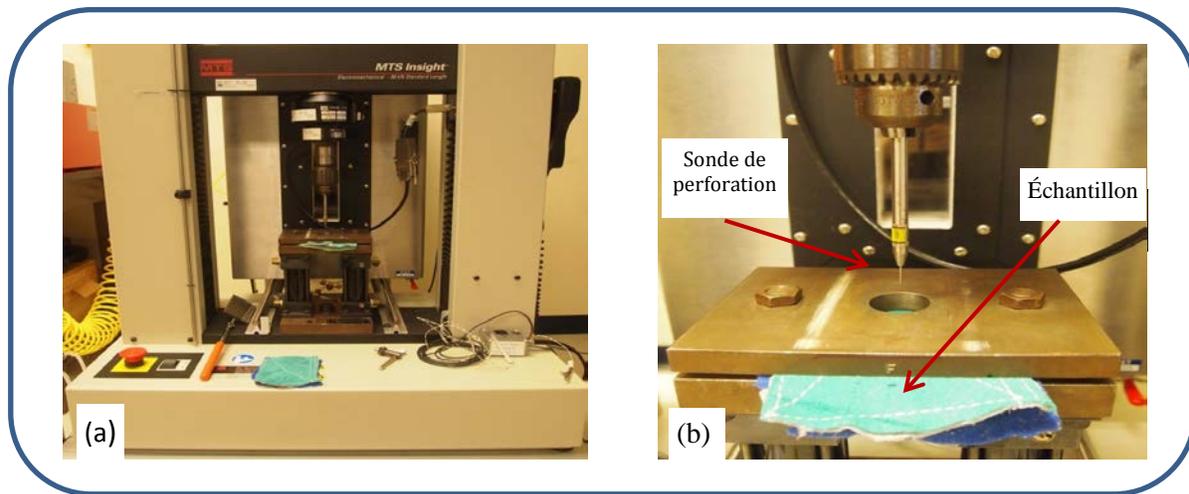


Figure 6 Photo du montage pour la mesure de la résistance à la perforation.

Une machine d'essais de traction MTS Insight (Figure 6) a été utilisée pour effectuer les tests. Elle est dotée d'une cellule de charge pouvant être de 25, 100 et 250 N selon le montage et les efforts susceptibles d'être rencontrés. Cette cellule de charge, sur laquelle est fixée la sonde à l'aide d'un mandrin, mesure la force de perforation durant l'essai. L'échantillon est installé dans un porte-échantillon muni de deux plaques ayant chacune une ouverture de 25,4 mm de diamètre, permettant à l'échantillon de se déformer librement durant l'essai. Pour chaque modèle, 12 répliques sont réalisées sur quatre échantillons de gants, à raison de trois répliques

par échantillon. La force de perforation correspond à la moyenne des forces maximales mesurées pour les 12 répliques.

Pour comparer les résultats des gants traités par rapport aux gants neufs, un modèle d'analyse de la variance et un test de comparaison multiple de Tukey ont été utilisés, avec un niveau de significativité α de 0,05. Le modèle a pris en compte les effets fixes tels que le type de gant (facteur « Gant »), l'état dans lequel se trouvait le gant (facteur « État ») ainsi que l'interaction entre le type de gant et l'état du gant. Les hypothèses sous-jacentes au modèle (homogénéité et normalité des résidus) ont été vérifiées à travers l'examen des résidus normalisés du modèle. Les tests statistiques, effectués au niveau de signification de 0,05, ont pris en compte le fait que le plan d'expérience n'était pas nécessairement équilibré. Les niveaux des facteurs « Gant » et « État » étaient spécifiques d'une analyse à l'autre.

2.3.3.3 Microscopie optique

Le microscope optique, Clemex Captiva équipé d'une lampe HL-150A, a été utilisé pour observer les changements morphologiques des gants avant et après le lavage en laboratoire et ceux usagés en milieu de travail. Il a permis de détecter le changement de couleur, les fissures et les endommagements à la surface des gants. Cette technique a aussi été utilisée pour déterminer l'épaisseur des gants, en mesurant la distance entre la surface inférieure et la surface supérieure de la partie paume du gant. Cinq répliques ont été effectuées pour avoir une valeur de l'épaisseur moyenne.

2.3.3.4 Caractérisation des huiles

Comme indiqué à la sous-section 1.2.2, les fluides de coupe industriels sont des mélanges de multiples produits incluant des huiles minérales ou synthétiques, des anticorrosions et de nombreux additifs afin d'améliorer leur performance d'usinage. Leur composition chimique exacte reste toujours inconnue pour les utilisateurs ce qui rend l'explication du phénomène de gonflement hasardeux, ou la mise en œuvre d'essais expérimentaux de perméation particulièrement exigeante. Cependant, la « matrice de fond » des fluides de coupe est souvent composée d'hydrocarbures de types aromatiques, paraffiniques et naphthéniques. Ce type de composition a été déterminé pour les huiles de cette étude, ainsi que d'autres propriétés physico-chimiques décrites au Tableau 5.

Tableau 5 Méthodes utilisées pour la caractérisation des huiles

Propriété des huiles	Méthode de détermination
Point aniline	ASTM D611
Viscosité cinématique, 40 °C	ASTM D445
Densité relative 15 et 20 °C	ASTM D4052
Constante viscosité-gravité (VGC)	ASTM D2501
Teneur en carbones aromatique, paraffinique et naphthénique	ASTM D2140
Indice de réfraction (n)	Inspiré de ASTM D1218
Constante de réfraction (RI, refractivity intercept)	ASTM D2140

Afin d'identifier les éventuels déterminants du gonflement, une analyse par régression linéaire multiple a été effectuée avec les logiciels Excel® 2010 et IBM SPSS® 22.0. L'ensemble des propriétés des huiles ont été considérées comme variables explicatives du gonflement.

2.3.4 Usure des gants en milieu de travail

Quelques rencontres avec les différents représentants des deux entreprises ont eu lieu pour se familiariser avec les postes de travail ciblés, sélectionner les gants potentiels à tester et mettre en place le programme d'usure en milieu de travail.

2.3.4.1 Description des postes de travail ciblés

Entreprise A

Deux secteurs de production ont été ciblés dans l'entreprise A. Le premier secteur est celui responsable de la fabrication des composantes de raccords électriques à partir de barres de métal usinées sur des tours à décolleter automatiques multibroches. Les postes ciblés sont ceux des opérateurs/ajusteurs des **Screws** (pour *screw machine*, c.-à-d. tour à décolleter). Le travail de l'opérateur/ajusteur consiste à opérer, à ajuster et à monter les machines et outils à décolleter pour usiner le produit. Certains travailleurs ne font que les tâches d'opérateur, d'autres que les tâches d'ajusteur, mais la majorité d'entre eux accomplit les deux types de tâches. Les tâches d'opérateur incluent notamment celles d'alimenter la machine de barres de métal, d'opérer la machine, de vérifier la conformité du produit, de procéder aux ajustements requis sur la machine en cours de production pour assurer la qualité du produit, et d'ébavurer le produit. Les opérateurs portent des gants Ansell Hycron 27-805. Ils sont exposés à de l'huile Lubricut 095 pur, qui circule dans la machine et recouvre le produit, et à de l'huile minérale, qui est utilisée pour procéder à l'inspection pour le contrôle qualité. Ils sont aussi exposés à des risques élevés de coupure par des pièces aux bords coupants. Les tâches d'ajusteur consistent à effectuer les montages complets des tours à décolleter en y installant les outils d'usinage (foret, fraise à chanfrein, alésoir, etc.), à réaliser l'ajustement des machines et l'entretien. Pour réaliser leur travail qui demande beaucoup de dextérité, les ajusteurs portent des gants jetables en nitrile, qui les protègent partiellement de l'exposition à de l'huile Lubricut 095 pur, et très peu des risques de coupure. Les opérateurs/ajusteurs qui font les deux types de travaux alternent entre les deux modèles de gants.

Le deuxième secteur est celui où sont fabriquées différentes boîtes électriques à partir d'une feuille d'acier qui est formée sur une presse puis coupée, percée, taraudée, etc., sur les différentes machines jusqu'à obtenir un produit fini. Un des types de postes qui a été ciblé dans ce secteur est celui des opérateurs/ajusteurs des **Lignes**. L'opérateur/ajusteur doit procéder au montage d'outils et d'équipements spécifiques au produit à fabriquer sur la machine, à la mise en marche de la machine, à la vérification manuelle de la conformité du produit et, au besoin, à l'ajustement des outils et de la machine pour assurer la qualité de production. Il doit également emballer et identifier tous les produits finis. Le travailleur est exposé majoritairement à de l'huile de coupe Superedge 6754 diluée à 7 % (93 % eau) qui circule dans la machine et qui recouvre les produits à la sortie. Il peut également être exposé à d'autres types d'huiles (Tonna 220 et Tellus 32) et à de la graisse (graisse Molly) pour la lubrification et l'entretien de la machine. En plus de la présence de ces contaminants, le

travailleur est exposé à des risques de coupure, car le produit à manipuler ou les outils à installer sur la machine peuvent avoir des bords coupants. Les travailleurs de ce type de poste utilisent majoritairement des gants Ansell Hyflex 11-900 (voir Tableau 1, sous-section 2.2.1), qu'ils changent à tous les deux à quatre jours.

Entreprise B

L'entreprise B fabrique des conduits d'évacuation à partir de métal en feuilles. Les pièces sont d'abord formées sur des presses, puis circulent d'un poste de travail à un autre pour en arriver à différents produits finis. Plusieurs postes de travail sont des postes d'assemblage où certaines pièces sont coupées, percées ou assemblées à l'aide de la technique de soudage par points. Les postes de travail ciblés sont ceux où les risques de coupure sont élevés, à cause de la manipulation du produit aux bords coupants, et où il y a aussi présence de contaminants. Les produits manipulés sont parfois recouverts en partie d'une huile, soit le Milform 64, diluée à différents taux dans l'eau selon les postes de travail. Les postes où est effectué le soudage par points n'ont pas été inclus dans l'étude, à cause du risque de brûlure. Certains travailleurs portent des gants de cuir, notamment lors du soudage par points. Sinon, la plupart des travailleurs portent des gants Superior Touch S13XPUQ (voir Tableau 1, sous-section 2.2.1). Tous les travailleurs portent aussi des manchons en fibre aramide (Kevlar).

2.3.4.2 Travailleurs participants

Les travailleurs ont été approchés par les personnes ressources de chaque milieu de travail qui leur ont demandé s'ils voulaient participer au programme d'usure. Aucune restriction n'a été imposée sur l'âge, le sexe ou la taille des mains des travailleurs. Les seuls critères étaient d'occuper un des postes ciblés, et d'être intéressé à l'étude. Ils étaient libres d'accepter ou non de participer, de même que d'abandonner l'étude en tout temps. Au total, 34 travailleurs se sont portés volontaires pour participer (dans l'entreprise A, 13 personnes dans le secteur *Screws* et 7 dans le secteur Lignes, ainsi que 14 personnes de l'entreprise B).

2.3.4.3 Processus de sélection des gants

Le choix des gants pour réaliser le programme d'usure en milieu de travail a été fait conjointement par l'équipe de recherche et les représentants des entreprises A et B, et de manière itérative. D'abord, environ 50 modèles de gants trouvés sur les sites web de manufacturiers de gants ont été sélectionnés après discussions avec les représentants de ces manufacturiers et sur la base des informations obtenues concernant leurs caractéristiques, les matériaux qui les composent, leur niveau de protection aux risques mécaniques et/ou chimiques et leur potentiel d'applicabilité dans le secteur de l'usinage du métal.

Pour cette première sélection, les gants étaient majoritairement composés d'un tricot enduit d'un polymère. Pour s'assurer d'un niveau de protection adéquat à la coupure, le tricot était généralement composé de fibres offrant une bonne résistance, par exemple le Kevlar®, le Spectra®, le Dyneema®, ou autres fibres performantes. Pour offrir une certaine résistance aux huiles, l'enduit devait être composé d'un ou de plusieurs des polymères identifiés comme étant adéquats selon les résultats de contamination en laboratoire (étape 3 de cette étude, voir sous-section 2.1).

Des exemplaires de chacun de ces 50 modèles de gants ont été présentés aux représentants des entreprises A et B. Après avoir essayé les gants et discuté, ces représentants ont fait une deuxième sélection des modèles qui, selon eux, conviendraient le mieux à leurs travailleurs, ce qui a réduit la liste à 18 modèles. Cette deuxième sélection a été basée essentiellement sur leur perception du confort, de la dextérité et de l'adhérence offerts par les gants, en lien avec leur connaissance des tâches à accomplir aux différents postes de travail.

Par la suite, la résistance à la coupure et la résistance à la perforation de ces 18 modèles de gants ont été mesurées en laboratoire (voir sous-sections 2.3.3.1 et 2.3.3.2 pour les méthodes utilisées). Ces mesures ont été nécessaires en vue de faire une troisième et dernière sélection des gants, effectuée conjointement par les représentants des entreprises et l'équipe de recherche, et basée cette fois-ci sur les propriétés des gants. En effet, pour des questions de sécurité, les gants pour le programme d'usure en milieu de travail devaient avoir des propriétés, à l'état neuf, équivalentes ou supérieures à celles des gants déjà en cours d'utilisation chez les entreprises partenaires.

Une fois les modèles de gants sélectionnés pour l'étude, des exemplaires de toutes les tailles disponibles pour chacun des modèles ont été fournis aux entreprises A et B. Ainsi, les travailleurs ont pu essayer toutes les tailles possibles et choisir celles avec lesquelles ils étaient les plus confortables.

2.3.4.4 Questionnaires

Deux questionnaires ont été élaborés par l'équipe de recherche en collaboration et avec l'accord des représentants des entreprises. Le premier questionnaire (Q1, annexe C) a permis d'obtenir de l'information sur les gants à tester et leur utilisation en milieu de travail. Il était divisé en trois parties :

- 1) 'Identification du participant' où devaient être inscrits son nom, son poste de travail ou son quart de travail, et s'il est droitier ou gaucher ;
- 2) 'Historique d'utilisation du gant' où le travailleur devait indiquer le modèle de gant à l'essai, les dates de début et de fin de l'essai, le nombre d'heures durant lesquelles les gants étaient portés chaque jour, quel type de contaminant a été manipulé et pour combien de temps, ainsi que la raison pour laquelle il a cessé d'utiliser ses gants;
- 3) 'Appréciation de la protection et de la fonctionnalité du gant évalué', où le travailleur devait donner sa perception, sur une échelle de 1 à 3 (1-faible, 2-acceptable, 3-excellent), d'aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort offerts par les gants. Puis, le travailleur devait indiquer les caractéristiques des gants qu'il avait appréciées ou n'avait pas appréciées.

Chaque travailleur devait remplir le questionnaire Q1 à chaque fois qu'un modèle de gant était testé.

Le deuxième questionnaire (Q2, annexe C) a servi à comparer entre eux les différents modèles de gants à tester, et de les comparer aussi aux gants habituellement portés par les travailleurs. Ceux-ci devaient classer les différents modèles de gants par ordre de préférence, énoncer les

avantages et les inconvénients de chacun, et indiquer, pour les nouveaux gants seulement, s'ils étaient prêts à les adopter dans leur milieu de travail. Chaque travailleur devait remplir le questionnaire Q2 une seule fois, à la fin de tous les essais.

2.3.4.5 Procédures d'essais des gants en milieu de travail

Des visites en milieu de travail ont été effectuées pour rencontrer les travailleurs, leur expliquer l'objectif de l'étude, le déroulement des essais et comment remplir les questionnaires. Pour chacun des postes de travail ciblés, les travailleurs ont testé trois modèles de gants, généralement un modèle par semaine. Pour les postes du secteur *Screws* dans l'entreprise A, deux des modèles ont été testés pour les tâches d'ajusteur, et un modèle pour les tâches d'opérateur.

Pour réaliser ces tests, chaque travailleur devait utiliser un des modèles de gants dans le cadre normal de son travail, au lieu de porter ses gants habituels. Comme pour leurs gants habituels, les travailleurs étaient libres de les porter de manière continue ou sporadique, durant la journée. Ils les ont portés pendant un maximum de quatre jours, puis ont répondu au questionnaire Q1. Après cette période d'essais, les travailleurs remettaient leurs gants usagés et leur questionnaire rempli au représentant de l'entreprise, qui les faisait ensuite parvenir par courrier à l'équipe de recherche. La semaine suivante, les travailleurs testaient le second modèle. Au bout de trois semaines, ils avaient terminé la première série d'essais. Ensuite, ils ont réalisé une deuxième série d'essais, avec les trois mêmes modèles de gants. Pour l'entreprise B, il y a eu, en plus, une troisième série d'essais. À la fin de tous les essais, les travailleurs ont répondu au questionnaire Q2 de comparaison des gants, et ceux-ci ont été transmis à l'équipe de recherche. Dans certains cas, les travailleurs ont bénéficié de l'assistance d'un représentant de l'entreprise pour les aider à répondre adéquatement aux questionnaires.

Les réponses aux questionnaires ont été colligées par l'équipe de recherche et les propriétés résiduelles de résistance à la coupure et à la perforation ont été mesurées en laboratoire et comparées aux propriétés de gants à l'état neuf. Les gants usagés ont été caractérisés rapidement, dès leur réception, afin de ne pas altérer les résultats puisqu'avec le temps, le contaminant pouvait pénétrer davantage dans le gant. Les gants ont été caractérisés dans l'état qu'ils étaient lors de leur récupération, pour étudier les propriétés après utilisation, sans qu'aucun traitement de nettoyage ou autre ne soit appliqué.

2.3.4.6 Analyse des résultats

Les résultats des mesures de coupure et de perforation ont été analysés pour chaque secteur de travail, tous sujets, séries d'essais (n° 1 et n° 2) et gant droit/gauche confondus. En effet, une analyse préliminaire des données de l'entreprise A secteur *Screws* a montré que les résultats étaient similaires ou que les tendances observées sur les changements de résistance à la coupure et à la perforation étaient équivalentes, que l'analyse soit faite avec toutes les données confondues ou qu'elle soit spécifique aux gants droits et gauches, aux gants des mains dominantes et non dominantes, ou aux gants de la série d'essais n° 1 et de la série d'essais n° 2.

Les résultats des questionnaires ont aussi été analysés pour chaque secteur de travail et pour chaque modèle de gants, tous sujets et séries d'essais (n° 1 et n° 2) confondus. Pour un même secteur, le nombre de participants ayant répondu aux différentes questions est variable d'un modèle de gant à l'autre, car certains travailleurs n'ont pas pu tester tous les modèles sélectionnés (absence du travail, retrait de l'étude ou participation tardive à l'étude, problème d'allergie, etc.), ou encore certains travailleurs n'ont pas pu émettre leur avis sur toutes les questions (ayant noté N/A sur les questionnaires). Toutes les réponses données ont été prises en compte, à savoir celles des essais n° 1 et n° 2 chez l'entreprise A (*Screws* et *Lignes*) et des essais n° 1, n° 2 et n° 3 chez l'entreprise B pour le questionnaire Q1, de même que celles des trois secteurs pour le questionnaire Q2.

Le questionnaire Q1 a permis d'évaluer la perception de différents aspects de protection, de fonctionnalité et de confort des gants. Pour chaque aspect, les cotes d'appréciation (1-faible, 2-acceptable, 3-excellent), données par les participants, ont été moyennées, tous sujets et séries d'essais confondus. Ensuite, les moyennes obtenues pour chacun des aspects ont été moyennées afin d'obtenir une appréciation globale pour chaque modèle de gant. Plus le résultat s'approche de 3, plus les travailleurs sont satisfaits du gant. Les caractéristiques appréciées ou non appréciées, colligées par le questionnaire Q1, ont été traitées avec les avantages et inconvénients des gants colligés par le questionnaire Q2.

Le questionnaire Q2 a permis de comparer les nouveaux modèles de gants entre eux, et de les comparer aussi aux gants habituellement portés par les travailleurs. Le classement de préférence des gants a été moyenné, tous sujets confondus, donnant ainsi un rang près de la valeur 1 au gant que les travailleurs appréciaient le plus. Ensuite, les avantages et inconvénients (Q2), de même que les caractéristiques appréciées ou non appréciées des gants (Q1) ont été recueillis. Finalement, les participants prêts à adopter les nouveaux gants pour leur travail ont été dénombrés.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Effets de la contamination et du nettoyage sur la résistance mécanique des gants

3.1.1 Effet de la contamination des gants

Les effets des contaminants sur la résistance des gants aux agresseurs mécaniques ont été étudiés sous trois temps d'exposition différents (0, 6 et 24 h). Les essais à 0 h permettaient d'étudier l'effet de lubrification des huiles sur la résistance mécanique des gants.

L'analyse de la variance des données de coupure avec un modèle mixte non-linéaire a montré que l'état du gant avait un effet significatif, mais pas très important, sur la résistance à la coupure ($p = 0,02$ pour le facteur « Etat »). En effet, les tests de coupure ont produit des résultats très variables, spécialement pour les gants contaminés. Cette grande variabilité dans les résultats exerce un effet important sur la puissance des tests statistiques, c.-à-d. sur leur capacité à détecter des effets. La puissance est difficile à quantifier, car on ne sait pas quelle ampleur d'effet on doit détecter. Donc, lorsqu'un effet n'est pas significatif, cela ne signifie pas nécessairement que l'effet n'est pas significatif, cela signifie plutôt qu'il y a trop de bruit dans les données pour permettre la détection d'un effet, s'il existe. La méthode d'essai pour la coupure nécessiterait une mise au point pour pouvoir être utilisée, notamment lorsqu'il s'agit de mesurer cette propriété sur des gants traités qui ne sont plus à l'état neuf. Cette situation est discuté plus en détail à la sous-section 3.3.2.2.

Les résultats de l'ensemble des tests de coupure, soit les valeurs F_{20} , sont présentés à la Figure 7 et les résultats chiffrés se trouvent au Tableau 27 de l'annexe A. Globalement, bien que les effets ne soient pas significatifs, on constate que la résistance à la coupure a tendance à diminuer pour la plupart des gants, lorsqu'ils sont en contact avec un fluide de coupe (18 cas sur 24 où la diminution varie de 1 à 29 %). Cette diminution peut être attribuée à un phénomène de lubrification de la surface de l'échantillon, expliquée par Vu-Khanh *et al.* (2005). En effet, la résistance à la coupure est affectée en grande partie par la friction entraînée par le mouvement de la lame contre le matériau. L'énergie nécessaire pour couper les élastomères provient fondamentalement de la force de friction due à l'interaction entre le matériau et les bords de la lame. Plus cette force de friction est élevée, plus le matériau aura une grande résistance à la coupure. La contamination des gants par les huiles entraîne une diminution de cette force de friction, c'est la raison pour laquelle la résistance à la coupure a tendance à diminuer. Dans d'autres cas montrés à la Figure 7, une légère augmentation de la résistance à la coupure a été observée (5 cas sur 24 où l'augmentation varie de 1 à 11 %). L'augmentation de la résistance à la coupure pourrait, dans ces cas, être liée à l'augmentation de la rigidité du polymère d'enduction causée par l'extraction des additifs au contact des fluides de coupe.

L'analyse de variance réalisée pour la résistance à la perforation (Tableau 6) montre que le type de gant est le facteur qui explique le plus la variation de la résistance à la perforation ($F = 1315,1$). Toutefois, l'état du gant est également un facteur important ($F = 17,6$), de même que l'interaction entre ces deux facteurs ($F = 8,3$). La Figure 8 montre l'ensemble des tests de

perforation de même que les résultats des analyses post hoc concernant les différences significatives entre les valeurs pour les gants neufs et celles pour les gants contaminés. Les résultats chiffrés se trouvent au Tableau 27 de l'annexe A. Dans la plupart des cas, la contamination en laboratoire conduit à une perte de la résistance à la perforation des gants (18 cas sur 24, soit 75 %, dont 5 cas de manière significative avec $p < 0,05$). Cette diminution de la force, qui varie entre 3 et 66 %, peut être liée à l'action plastifiante des fluides de coupe qui pourrait pénétrer à travers la membrane polymère du gant (Magryta *et al.*, 2006 ; Dolez *et al.*, 2011). La réduction de la résistance à la perforation d'un polymère en présence de fluide de coupe a également été observée dans d'autres études (Dolez *et al.*, 2011, Vu-Khanh *et al.*, 2005).

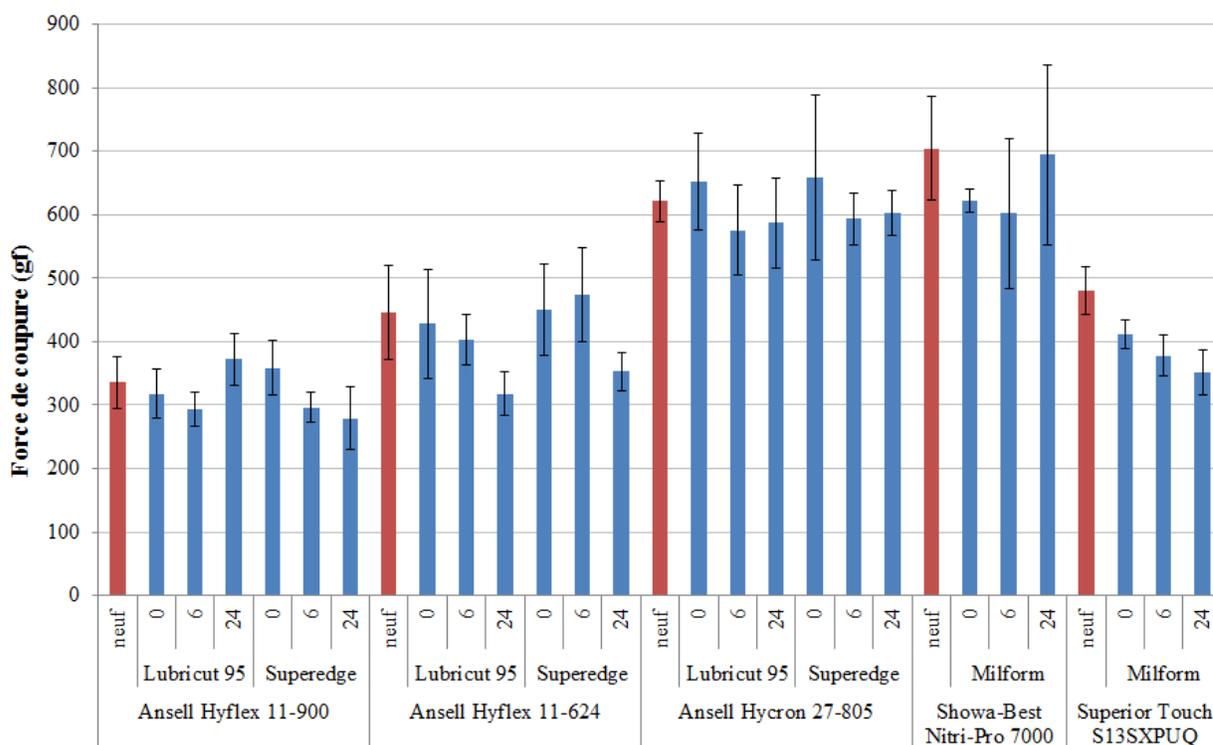


Figure 7 Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la coupure des gants.

Tableau 6 Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *)

Source de variation	DDL	Somme des carrés des écarts	Somme des carrés des écarts moyens	Statistique F	Valeur p
Gant	4	30277,3	7569,3	1315,1	< 2,2e-16 *
État	9	913,8	101,5	17,6	< 2,2e-16 *
Gant*État	15	718,9	47,9	8,3	5,736e-16 *
Résidus	311	1790,0	5,8		

Il est à noter que dans plusieurs cas, l'effet des contaminants sur la résistance mécanique (augmentation ou diminution) n'a pas été significatif. De plus, cette variation de la résistance semble indépendante du temps d'exposition. Cette situation peut en partie s'expliquer par le fait que les gants initialement utilisés par les compagnies partenaires de l'étude sont composés principalement des polymères nitrile ou PU qui offrent les meilleures résistances aux fluides de coupe, selon les résultats des essais de gonflement en laboratoire (voir sous-section 3.2). La dégradation chimique de ces gants peut être négligeable et indépendante de la durée de contamination (moins de 24 h) en laboratoire.

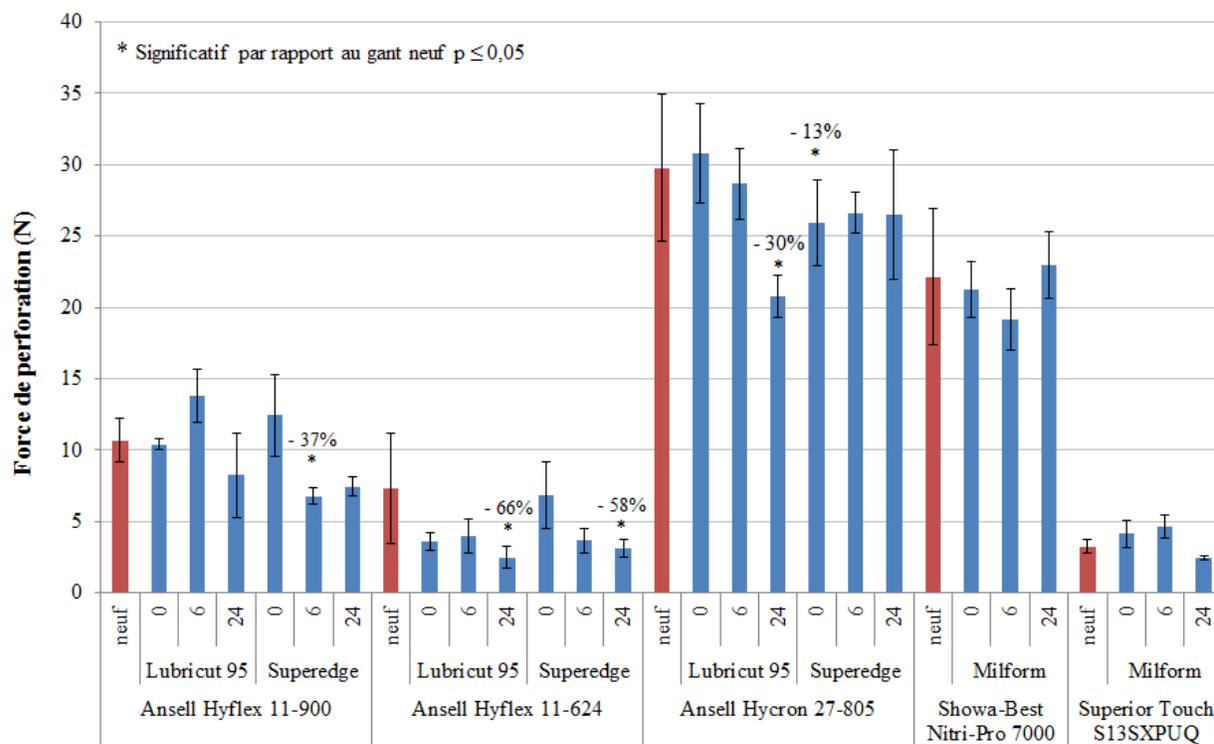


Figure 8 Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance à la perforation des gants.

Par ailleurs, il est impossible d'analyser séparément l'impact de la contamination sur chaque composant des gants, polymères enduits, adhésifs et tricots, car ceux-ci sont mélangés dans l'ensemble de l'épaisseur des gants.

3.1.2 Effet du nettoyage sur la performance des gants

L'effet du nettoyage sur les propriétés de résistance mécanique des gants a été évalué de manière exploratoire, dans l'éventualité où ceux-ci seraient réutilisés. Le lavage des gants permettrait aux industriels de réduire leurs coûts d'achat et de favoriser le développement durable. Des observations morphologiques et une mesure des propriétés mécaniques résiduelles des gants après nettoyage ont été réalisées.

3.1.2.1 Observation des effets du nettoyage sur la morphologie des gants

Effet du nettoyage sur les gants neufs

Les gants neufs ont subi des séries de 1, 5 et 10 cycles de nettoyage selon la méthode douce et ont ensuite été observés au microscope à différents grossissements pour détecter les changements de morphologie. Les résultats obtenus sont présentés au Tableau 7. Globalement, le premier cycle de lavage n'induit pas de changements significatifs de la morphologie, et ce, pour tous les gants de protection étudiés. En revanche, pour des lavages répétés, des changements de couleur de la surface et des déchirures des gants à certains endroits ont été observés.

Les observations morphologiques des gants nettoyés montrent que les gants Superior Touch S13SXPUQ et Ansell Hycron 27-805 présentent la meilleure résistance au lavage. Aucune trace de déchirure n'a été observée. Le modèle Ansell Hyflex 11-900 devient collants à certains endroits et le Hyflex 11-624 semble être plus rigide. Le traitement de nettoyage répété de ces gants a conduit à de nombreuses dégradations localisées et parfois à des déchirures qui peuvent être attribuées à la perte du polymère enduit par frottement mécanique et par le détergent utilisé durant le lavage. En ce qui concerne les gants Showa-Best Nitri-Pro 7000, on constate que la paume n'a pas été abîmée lorsqu'elle a subi des cycles de lavage, mais elle est devenue collante à certains endroits.

Tableau 7 Effet du nettoyage doux sur la morphologie des gants neufs (grossissement 10X)

Modèle de gant	Nombre de cycle de lavage (fois)				Structure Polymère/ tricot	Épaisseur de la paume (mm)	Observation
	0 (neuf)	1	5	10			
Superior Touch S13SXPUQ						1,20 ± 0,09	Pas de changement notable
Showa Best Nitri-Pro7000						1,46 ± 0,07	Collant à certains endroits
Ansell Hyflex 11-900						0,94 ± 0,03	-Déchirure à certains endroits -Collants à certains endroits
Ansell Hyflex 11-624						1,01 ± 0,07	Perte du polymère d'enduction
Ansell Hycron 27-805						1,35 ± 0,05	Pas de changement notable

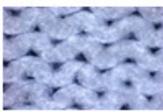
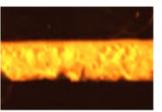
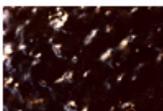
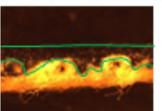
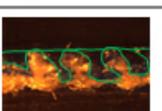
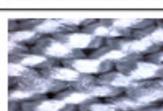
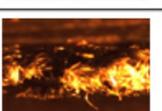
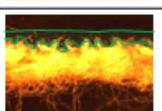
± indique l'écart-type

Effet du nettoyage sur les gants contaminés

Les gants neufs ont été trempés dans l'huile Milform 64SST pendant 24 h, puis nettoyés selon la méthode douce avant d'être observés au microscope. Pour évaluer l'efficacité du processus de nettoyage et observer son effet sur les gants contaminés, le Tableau 8 présente des images de la surface des gants neufs et des gants lavés après contamination, une image en coupe de la structure de la paume incluant l'enduit et le tricot, de même que la mesure de l'épaisseur des gants.

Globalement, le nettoyage semble plus efficace pour le gant Showa-Best Nitri-Pro 7000 et le gant Ansell Hycron 27-805, car les traces d'huiles qui ont pu être absorbées ont pratiquement disparu. Cela peut être attribué à la couche d'enduction plus épaisse qui recouvre complètement la surface du gant, empêchant ainsi la pénétration des huiles à l'intérieur du gant. Les autres modèles, comme les gants Ansell Hyflex 11-624 et Superior Touch S13SXPUQ, possèdent une paume faite d'un polymère qui ne recouvre pas complètement le tricot (Tableau 8), ce qui facilite l'absorption des huiles. Dans ces deux cas, le nettoyage n'élimine pas totalement les traces d'huile.

Tableau 8 Effet du nettoyage doux sur la morphologie des gants contaminés (trempage dans l'huile Milform 64SST pendant 24 h) (Grossissement 10X)

Modèle de gant	Nombre de cycle de lavage		Structure Polymère/ tricot	Épaisseur de la paume (mm)	Changements morphologiques
	0 (neuf)	1			
Superior Touch S13SXPUQ (dos)				1,20 ± 0,09	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement notable • Taches d'huile restantes
Showa Best Nitri-Pro 7000 (paume)				1,46 ± 0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement notable
Ansell Hyflex 11-900 (paume)				0,94 ± 0,03	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement notable • Taches d'huile restantes
Ansell Hyflex 11-624 (dos)				1,01 ± 0,07	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement notable • Taches d'huile restantes
Ansell Hycron 27-805 (paume)				1,35 ± 0,05	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de changement notable

* ± indique l'écart-type

Effet du nettoyage sur les gants usagés dans le milieu de travail

Les gants usagés Showa-Best Nitri-Pro 7000, Ansell Hycron 27-805 et Ansell Hyflex 11-900, récupérés dans l'entreprise B, ont été analysés en laboratoire pour étudier l'efficacité du nettoyage et son effet sur la morphologie des modèles. Le Tableau 9 montre la surface des gants neufs, usagés et lavés une fois selon les deux méthodes décrites à la sous-section 2.3.2. On peut voir que les nettoyages, doux et agressif, ne sont pas vraiment efficaces pour des gants usagés, car des taches y subsistent toujours à la surface.

Tableau 9 Effet du nettoyage doux et agressif sur la morphologie de différents modèles de gants. Les images, observées en microscopie optique avec un grossissement 10X, présentent la morphologie des gants neufs et usagés (c.-à-d. récupérés du milieu de travail) sans traitement de nettoyage, à la suite d'une procédure de nettoyage douce et à la suite d'une procédure de nettoyage agressive

Modèle de gant	Traitement				Structure Polymère/tricot	Épaisseur de la paume (mm)	Changements morphologiques
	0 (neuf)	Usagé, récupéré au milieu de travail	Usagé, nettoyé 1 fois, procédure douce	Usagé, nettoyé 1 fois, procédure agressive			
Showa Best Nitri-Pro 7000						1,46 ± 0,07	• Collant à certains endroits
Ansell Hycron 27-805 (Paume)						1,35 ± 0,05	• Changement de couleur
Ansell Hycron 27-805 (Poignet)							• Pas de changement notable
Ansell Hyflex 11-900 (Paume)						0,94 ± 0,03	• Perte du polymère d'enduction
Ansell Hyflex 11-900 (Poignet)							• Pas de changement notable

± indique l'écart-type

Ces images montrent aussi que suite au lavage agressif, certaines mailles s'effilochent et il devient difficile de les observer au microscope (Ansell Hyflex 11-900). On peut constater un changement notable de couleur de la paume des trois modèles de gant, passant d'un bleu foncé à un bleu clair. Ce changement de couleur pourrait avoir pour origine une réaction chimique entre les détergents utilisés et le polymère d'enduction, ou encore une perte des colorants dans la matrice polymère. Il est à retenir que le nettoyage conduit à des modifications morphologiques sur les gants qui peuvent être visibles à l'œil nu (changement de couleur) ou ressenties au toucher (caractère collant du polymère d'enduction), mais la dégradation chimique du polymère reste hypothétique et nécessiterait des analyses complémentaires pour être mise en évidence. Globalement, les gants possédant un enduit complet et épais (Showa-Best Nitri-Pro 7000 et Ansell Hycron 27-805) semblent être résistants aux différents cycles de lavage et peu de déchirures sont observées, mais ils deviennent collants et moins flexibles. Les

autres gants (Ansell Hyflex 11-900) ont été abîmés par les lavages (apparition de déchirures, de marques d'érosion ou autres types de dommages) ce qui pourrait diminuer la protection de l'utilisateur. Il est important de noter que les gants usagés et neufs ne réagissent pas de la même façon au lavage. À titre d'exemple, dans le cas des gants Ansell Hycron 27-805 neufs, aucun changement de couleur n'a été observé après le premier cycle de lavage. En revanche, pour les gants usagés, des modifications importantes apparaissent dès le premier cycle de nettoyage, ce qui peut être expliqué par la dégradation du matériau des gants à cause de l'usure en milieu de travail, entraînant ainsi une perte de la résistance contre l'attaque des détergents.

3.1.2.2 Effet du nettoyage sur la résistance mécanique des gants

Les gants neufs ont subi 5 et 10 nettoyages consécutifs selon la méthode douce et ont ensuite été caractérisés pour mesurer leur résistance résiduelle à la coupure et à la perforation.

Comme pour les résultats des tests de coupure lors de la contamination en laboratoire des gants, la variabilité des données issues des tests de coupure sur les gants lavés n'a pas permis de détecter un effet du nettoyage des gants sur la résistance à la coupure, s'il existe (voir sous-section 3.3.2.2 pour une discussion au sujet de la méthode d'essai pour la coupure). Par ailleurs, l'analyse de variance réalisée pour la résistance à la perforation (Tableau 10) montre que le type de gant, l'état du gant et l'interaction de ces deux facteurs ont tous eu un effet significatif sur la résistance à la perforation ($p < 0,0001$).

Tableau 10 Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet du nettoyage sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *)

Source de variation	DDL	Somme des carrés des écarts	Somme des carrés des écarts moyens	Statistique F	Valeur p
Gant	4	10800,5	2700,1	170,4	< 2,2e-16*
État	2	1204,2	602,1	38,0	2,672e-14 *
Gant*État	8	627,6	78,5	5,0	1,662e-05 *
Résidus	165	2614,6	15,9		

Les résultats de la résistance à la coupure et à la perforation des gants neufs et lavés sont présentés à la Figure 9, de même que les résultats des analyses post hoc réalisées sur les données de perforation (Figure 9b). Les résultats chiffrés se trouvent au Tableau 28 de l'annexe A. Peu d'effet du nettoyage est observé sur la résistance à la coupure. Par ailleurs, pour la majorité des modèles, la résistance à la perforation des gants a augmenté après 5 et 10 lavages (8 cas sur 10 où l'augmentation varie de 12 à 268 %, dont 5 cas de manière significative). Cette augmentation n'a pas été observée pour le gant Ansell Hycron 27-805 où la force de perforation reste quasi constante à la suite des cycles de lavage. Le nettoyage augmente donc la résistance à la perforation des gants et, conjointement, accroît aussi leur rigidité, ce qui pourrait entraîner une perte de confort et de dextérité pour les travailleurs.

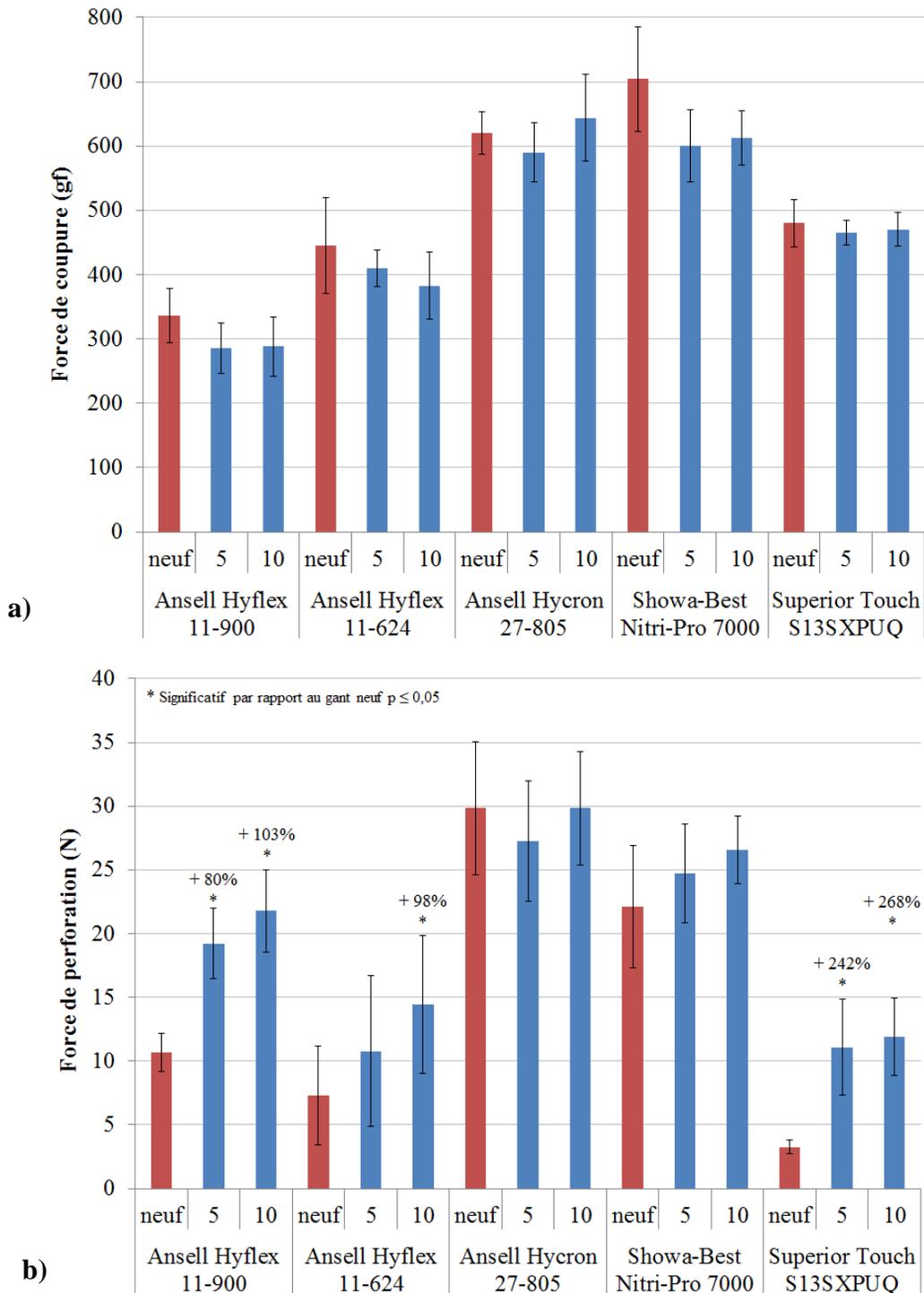


Figure 9 Résistance à la coupure (a) et à la perforation (b) des gants neufs (rouge), puis nettoyés (condition douce) 5 ou 10 fois (bleu).

3.1.3 Résumé de l'effet de la contamination et du nettoyage

L'effet de la contamination des gants sur leur résistance à la coupure et à la perforation a été étudié pour huit couples gants/fluides de coupe, issus des entreprises partenaires, exposés à trois durées de contamination en laboratoire (0, 6 et 24 h). Les résultats ont montré que l'état du gant avait un effet significatif sur la résistance mécanique des gants, notamment sur la résistance à la perforation. La résistance à la coupure a tendance à diminuer de 1 à 29 % (dans 18 cas sur 24), mais à cause de la difficulté de cette méthode d'essai à produire des résultats stables, l'effet de la contamination sur cette propriété des gants n'a pas pu être analysé davantage. Par contre, l'effet de la contamination sur la résistance à la perforation est important, de même que l'interaction entre le type de gant et son état (les valeurs p étant < 0,0001). La résistance à la perforation a diminué de 3 à 66 % (dans 18 cas sur 24, dont 5 cas de manière significative). De manière générale, la diminution de la résistance à la coupure peut être attribuée à un phénomène de lubrification de la surface de l'échantillon qui occasionne une diminution de la force de friction créée entre les bords de la lame et le matériau. La diminution de la résistance à la perforation peut être liée à l'action plastifiante des fluides de coupe qui pourraient pénétrer à travers la membrane polymère du gant.

De plus, il semble que le temps d'exposition aux fluides de coupe ait relativement peu d'effet puisque la variation de la résistance est immédiate et semble indépendante du temps d'exposition. Ces résultats sont compréhensibles étant donné que les gants utilisés par les entreprises sont enduits des polymères nitrile ou PU qui offrent les meilleures résistances aux fluides de coupe, selon les résultats des essais de gonflement en laboratoire qui sont présentés à la sous-section 3.2. Par ailleurs, il n'a pas été possible d'analyser l'impact de la contamination sur chaque composant des gants pris séparément (le polymère d'enduction et le tricot) puisque ces composants sont amalgamés pour former l'épaisseur des gants.

L'effet du nettoyage sur la performance des gants a été évalué de manière exploratoire. Dans un premier temps, c'est la morphologie des gants, ayant subi différents traitements, qui a été observée par microscopie optique. Cette observation a d'abord été réalisée sur cinq modèles de gants neufs ayant subi, d'une part, des séries de 1, 5 et 10 nettoyages consécutifs selon la méthode douce, et d'autre part, une contamination en laboratoire pendant 24 h suivie d'un nettoyage selon la méthode douce. L'observation au microscope a aussi été réalisée sur des gants usagés (trois modèles de gants sur cinq), qui ont été nettoyés selon deux méthodes (douce et agressive). De manière générale, le nettoyage conduit à des modifications morphologiques sur les gants qui peuvent être visibles à l'œil nu (changement de couleur), visibles au microscope (déchirures à la surface, perte du polymère enduit) ou ressenties au toucher (caractère collant du polymère d'enduction, rigidité du gant), mais la dégradation chimique du polymère reste hypothétique et nécessiterait des analyses complémentaires pour être mise en évidence. Il est à noter que les gants usagés et neufs ne réagissent pas de la même façon au lavage. En effet, bien qu'un seul nettoyage n'induit pas de changement significatif de la morphologie des gants neufs, il en est tout autrement pour les gants usagés, où des modifications importantes apparaissent suite au nettoyage. Cela peut s'expliquer par la dégradation du matériau des gants causée par l'usure en milieu de travail qui entraîne une perte de la résistance contre l'attaque des détergents. Par ailleurs, le nettoyage des gants

souillés (gants contaminés en laboratoire ou gants usagés provenant de l'entreprise B) n'a pas permis d'éliminer totalement les traces d'huile.

Dans un deuxième temps, les propriétés mécaniques résiduelles ont été mesurées sur les gants neufs ayant subi des séries de 5 et 10 nettoyages consécutifs selon la méthode douce. Les résultats ont montré que, pour quatre des cinq modèles de gants de protection (tous sauf le gant Ansell Hycron 27-805), la résistance à la perforation a augmenté de 12 à 268 %, dont 5 cas de manière significative, après 5 ou 10 cycles de lavage. Quant à la résistance à la coupure, la variabilité importante dans les données n'a pas permis de détecter un effet du nettoyage sur cette propriété des gants.

3.2 Détermination des meilleurs polymères d'enduction pour les gants utilisés en usinage du métal

La sous-section précédente a permis de documenter l'effet de contaminants de type fluide de coupe sur un nombre limité de gants qui disposait d'un enduit en nitrile ou en polyuréthane. Les résistances à la coupure et à la perforation ont diminué après exposition dans un certain nombre de cas, même si cet effet n'a pas été systématique.

Afin de pallier cette limitation, des essais de gonflements ont été réalisés avec différentes huiles sur six polymères afin de déterminer le/les polymère(s) d'enduction le(s) plus résistant(s) aux fluides de coupe, l'hypothèse étant que si celui-ci est inerte, ses propriétés initiales resteront intactes et, qu'en conséquence, les propriétés de résistance mécanique ne devraient pas subir d'altérations majeures. De plus, les coefficients de diffusion des fluides de coupe dans les six élastomères ont été calculés afin de mieux comprendre la résistance chimique des polymères. Enfin, les déterminants du taux de gonflement ont été établis à partir des propriétés physico-chimiques des matériaux et des huiles, grâce à des modèles multilinéaires ayant pour objectif de mieux décrire d'éventuelles tendances en matière de résistance aux fluides de coupe des élastomères.

3.2.1 Cinétique de gonflement

La Figure 10 présente un exemple de l'évolution dans le temps du taux de gonflement des six polymères exposés au fluide Superedge 6754 (voir Tableau 2, sous-section 2.2.2). Ces résultats indiquent que le gonflement dépend fortement du temps d'exposition et de la nature des polymères. Dans les cas du butyle, du latex et du néoprène, plus on augmente le temps d'exposition, plus le taux de gonflement est important. Il est donc possible que les contaminants aient pénétré le réseau des polymères. L'ensemble des chaînes peut alors s'écarter les unes des autres à cause des fluides de coupe insérés entre les chaînes. En revanche, dans le cas du PVC, un taux de gonflement négatif est observé. Certains polymères (nitrile et PU) absorbent les contaminants et atteignent l'état d'équilibre après 200 h d'exposition aux contaminants, alors que d'autres (butyle, latex) continuent à absorber l'huile jusqu'à 500 h.

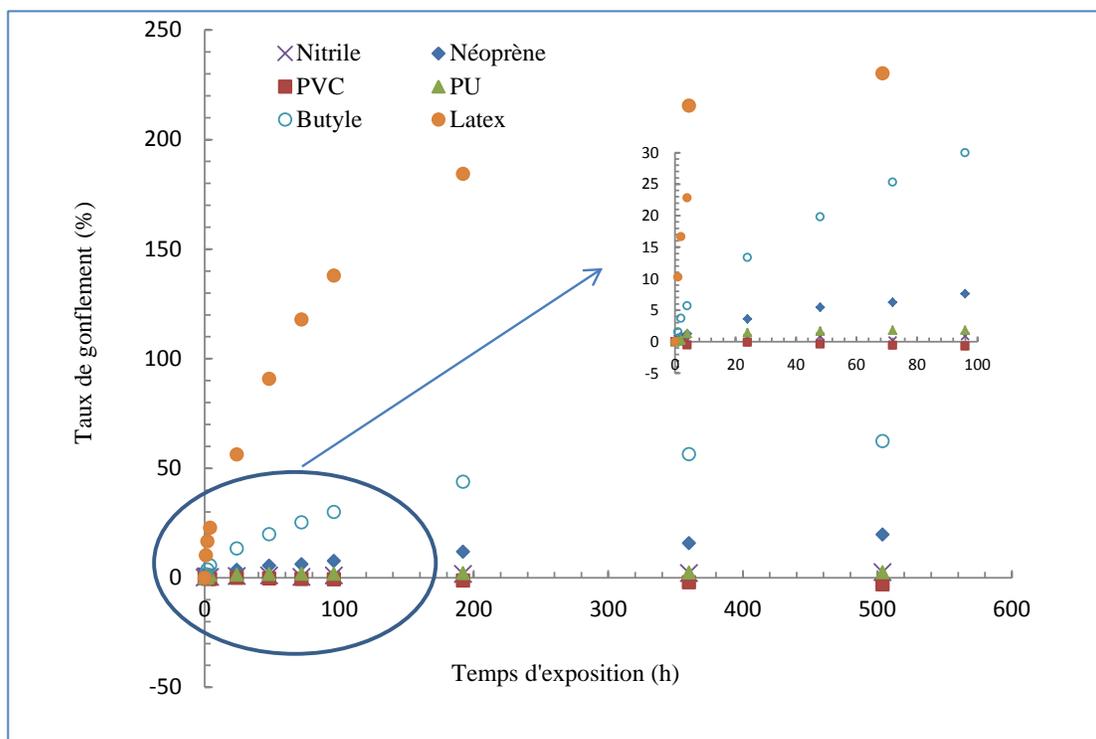


Figure 10 Évolution du taux de gonflement des polymères en fonction du temps d'exposition au contaminant Superedge 6754.

Pour avoir une vue globale de la résistance aux huiles des polymères étudiés, les taux de gonflement des six polymères après 504 h d'immersion dans les différentes huiles sont illustrés à la Figure 11. Les polymères étudiés peuvent être classés en trois catégories en fonction de leur comportement de gonflement aux contaminants. La première catégorie comprend les polymères qui résistent mal aux fluides de coupe, soit le latex et le butyle. La seconde catégorie est composée du nitrile, du PVC et du PU, qui présentent de très faibles taux de gonflement.

Entre les deux se situe le néoprène, dont le comportement est moins systématique que les autres polymères. Selon les résultats des essais de gonflement en laboratoire, la résistance aux contaminants est classée selon l'ordre décroissant suivant : PVC, Nitrile, PU > Néoprène > Butyle, Latex.

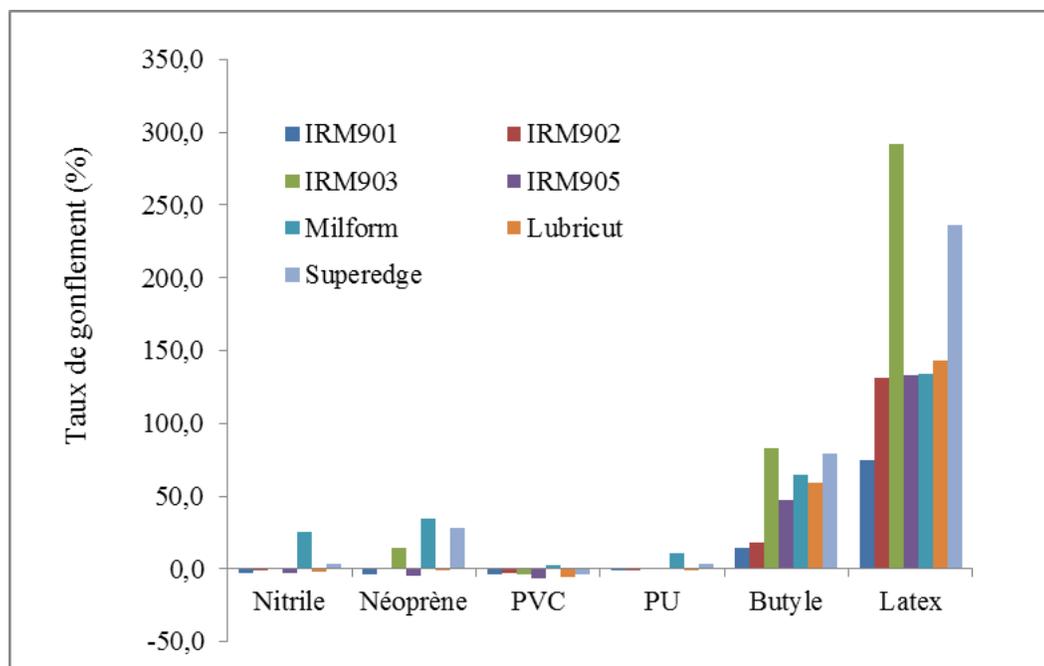


Figure 11 Taux de gonflement des membranes polymères après 504 h d'exposition à différents fluides de coupe.

Une réduction de la masse des échantillons (taux de gonflement négatif) a été constatée de manière systématique dans le cas du PVC, et de manière fréquente pour le nitrile, le PU et le néoprène après 504 h d'immersion dans les fluides de coupe. Cette perte de masse est subséquente à une longue durée d'exposition aux huiles, et pourrait être liée à l'extraction des additifs (noir de carbone, renforts, plastifiants, agents de vulcanisation, résidus de polymérisation, antiultraviolet, etc.) de la matrice polymère par les contaminants. Ce phénomène a déjà été observé par d'autres chercheurs (Gunnar *et al.*, 2005). Dans cette étude, les huiles étaient constituées en majorité d'hydrocarbures à longues chaînes et présentaient, *a priori*, de faibles polarités. Les polymères tels que le PU ou le nitrile sont plus polaires (voir Tableau 2) et deviennent plus résistants aux huiles de nature apolaire. Il est connu que le nitrile résiste bien au gonflement lorsqu'il est en contact avec des fluides de coupe (Xu et Que Hee, 2006, 2008; Dunn, 1985; Myntti, 2003). La présence du groupement polaire acrylonitrile dans la chaîne principale est le paramètre clé de la résistance aux huiles de ce matériau. Plus le taux d'acrylonitrile est important, plus le nitrile est considéré comme résistant. Cependant, lorsque le taux d'acrylonitrile est élevé, un gant fait de nitrile ou enduit de nitrile peut durcir et engendrer une perte possible de confort, ce qui pourrait restreindre son utilisation dans certains domaines d'activités. Le PU, quant à lui, est un polymère thermoplastique. Il est naturellement très souple. La présence des groupements polaires uréthane (CONH) confère à ce polymère une excellente résistance aux huiles ou aux solvants apolaires. Les présents résultats de gonflement sont en accord avec ceux publiés dans la littérature et qui montrent que les gants en caoutchouc nitrile offrent une meilleure résistance à la perméabilité que ceux en néoprène, en latex ou en butyle (Xu et Que Hee, 2007; Forsberg *et al.*, 1986).

3.2.2 Coefficient de diffusion

Le gonflement traduit un phénomène d'absorption des contaminants par les polymères qui est généré par une diffusion et la capacité de solubilité des solvants dans la matrice polymère. Il est possible d'utiliser le modèle de diffusion de Fick en mesurant la variation de la masse de l'échantillon testé, en fonction de la durée de contamination. Ce modèle permet d'interpréter le phénomène de gonflement des polymères par le calcul du coefficient de diffusion D ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$) des contaminants, en utilisant l'équation suivante (Seehra *et al.*, 2012, Perron *et al.*, 2002) :

$$\frac{\Delta M_t}{\Delta M_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \exp\{-D(2n+1)^2 \pi^2 t / 4l^2\} \quad \text{Équation 8}$$

où ΔM_t et ΔM_∞ sont les prises de masse de l'échantillon à l'instant t (s) et à l'état saturé, l est l'épaisseur de l'échantillon (cm). Le coefficient de diffusion donne une vue globale du processus d'absorption d'un matériau avec un élément diffusant. En général, un grand coefficient de diffusion traduit un matériau peu résistant aux diffusants et vice versa. Au début du processus d'absorption (avant 192 h d'exposition), le transport du contaminant (solvant) dans un matériau polymère peut être simplifié par l'équation suivante (Seehra *et al.*, 2012, Perron *et al.*, 2002) :

$$\Delta M_t / \Delta M_\infty = 4 \frac{D^{1/2}}{\pi^{1/2}} \left(\frac{t^{1/2}}{e} \right) \quad \text{Équation 9}$$

où e est l'épaisseur de l'échantillon. La relation entre $(\Delta M_t / \Delta M_\infty)$ et $(t^{1/2}/e)$ devrait être linéaire. Le coefficient de diffusion D d'un contaminant dans un polymère peut donc être déterminé à partir de la pente de la courbe :

$$D = \text{pente}^2 \cdot \frac{\pi}{16} \quad \text{Équation 10}$$

Les coefficients de diffusion calculés en utilisant l'équation 10 et par l'interprétation de la pente de la courbe sont présentés au Tableau 11. Ce tableau montre une grande variation des coefficients de diffusion des contaminants en fonction de la nature des polymères. Le latex et le butyle possèdent globalement des valeurs de coefficient de diffusion plus grandes par rapport à celles des autres polymères. Il est important de mentionner que dans certains cas, les coefficients de diffusion ne sont pas affichés sur ce tableau. L'une des raisons est qu'une perte de masse des échantillons, pouvant être causée par l'extraction des additifs, a été observée. Ce phénomène empêche le calcul des coefficients de diffusion des polymères, car la loi de Fick n'est pas applicable. L'autre raison est que les courbes ne sont pas linéaires ($R^2 \leq 0,5$), rendant inadéquat le calcul des coefficients de diffusion.

Il est à noter que les valeurs calculées à partir de nos expérimentations sur le nitrile ($2,37 - 3,32 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{min}$) sont proches de celles publiées par Xu et Que Hee (2006), qui oscillent entre $3,0 \pm 0,3 \cdot 10^{-9}$ et $4,5 \pm 0,6 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{min}$ pour un fluide de coupe (huile minérale), selon la méthode de détermination expérimentale et l'approche retenue pour le calcul. À notre

connaissance, aucune autre étude permettant de valider nos résultats n'a pu être recensée dans la littérature.

Tableau 11 Coefficients de diffusion des fluides de coupe dans les polymères étudiés

Contaminant		Polymère					
		Nitrile	Néoprène	PVC	PU	Butyle	Latex
Lubricut 95	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	N/A	2,84	N/A	N/A	4,42	6,36
	(R^2)		0,92			0,97	0,85
Superedge 6754	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	2,37	2,34	N/A	2,83	4,40	7,85
	(R^2)	0,88	0,99		0,78	0,99	0,99
Milform 64SST	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	3,31	3,85	N/A	3,32	4,91	3,32
	(R^2)	0,99	0,98		0,97	0,98	0,97
IRM 901	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	2,83	1,60	N/A	2,37	2,39	3,85
	(R^2)	0,91	0,96		0,89	0,91	0,99
IRM 902	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	N/A	N/A	N/A	N/A	1,96	3,32
	(R^2)					0,97	0,98
IRM 903	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	3,32	2,37	N/A	N/A	4,45	6,36
	(R^2)	0,92	0,96			0,99	0,98
IRM 905	$D \times 10^{-9}$ ($\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)	N/A	1,59	N/A	1,33	2,39	4,42
	(R^2)		0,92		0,7	0,93	0,98

R^2 : coefficient de détermination linéaire;
N/A : Non applicable (si $R^2 \leq 0,5$ ou taux de gonflement négatif)

3.2.3 Déterminants du gonflement

Afin de mieux comprendre les résultats de gonflement constatés sur les quatre polymères les plus résistants aux huiles de l'étude (nitrile, PU, PVC et néoprène), et d'éventuellement étendre leur portée, des essais de corrélations entre le gonflement de ces polymères et certains descripteurs physicochimiques des fluides et des polymères ont été réalisés. Afin d'augmenter la représentativité de ces éventuelles corrélations, trois huiles ont été ajoutées aux sept déjà utilisées, sur la base de leur disponibilité commerciale. La composition exacte des fluides de coupe n'est pas accessible aux utilisateurs, mais il est commun de dire que le nombre de composés présents est de plusieurs dizaines. Il a donc fallu les caractériser à l'aide de propriétés physicochimiques ou d'indicateurs simples, globaux, capables de représenter les différents mélanges de composés et de traduire leur composition. Afin d'orienter la caractérisation, ces huiles ont été assimilées à des dérivés de produits pétroliers, étant donné leur composition globale en hydrocarbure de différents types. Par ailleurs, les corrélations ont

été envisagées dans la mesure où les propriétés physiques étaient simples à mesurer/faire mesurer ou à calculer. Ainsi, pour décrire les huiles, les propriétés suivantes ont été retenues :

- La densité, à des températures de 15 et 20 °C
- L'indice de réfraction
- La viscosité, à 40 °C
- Le point aniline : température à laquelle un même volume d'huile et d'aniline sont miscibles. Plus le point aniline est bas, plus l'huile est aromatique et plus l'huile est censée faire gonfler les polymères. Plus le point aniline est haut, plus l'huile est paraffinique.
- La constante de réfraction, $RI = n - d/2$ (où n est l'indice de réfraction, et d , la densité à 20 °C). Les huiles paraffiniques montrent un RI compris entre 1,048 et 1,050, alors que les huiles aromatiques ont un RI entre 1,070 et 1,105 (Vakili-Nezhaa et Modarress, 2002).
- La constante viscosité-gravité (VGC) : paramètre qui permet encore une fois de caractériser les fractions de distillation pétrolières. Selon sa valeur de VGC, l'huile est composée de portions variables de carbones de types aromatiques, naphthéniques ou paraffiniques. C'est aussi un indice du pouvoir solubilisant de l'huile. De fortes valeurs de VGC indiquent un fort pouvoir solubilisant (Nynas, 1997; Honary et Richter, 2011). Elle est calculée à partir de la viscosité et de la densité (ASTM D2501, 2011).

Ces descripteurs figurent au Tableau 12. Il aurait été fort utile de disposer des paramètres de solubilité de Hansen pour les huiles de l'étude. Malheureusement, la composition de ces mélanges n'étant pas connue, il est impossible d'obtenir les paramètres de solubilité de Hansen (HSP) de la littérature.

Pour distinguer les polymères, les valeurs HSP disponibles dans la littérature ont été considérées. Du fait de la nature expérimentale de la détermination des HSP pour les polymères, un soin particulier doit être apporté dans l'utilisation des valeurs disponibles. Ainsi, pour les quatre polymères, deux sources bibliographiques ont été utilisées (Hansen, 2007 et Hansen et Hansen, 1988; Plastguide, 1990, cité dans Hansen, 2007). Les valeurs retenues sont présentées au Tableau 13.

Il est à noter que certaines propriétés des huiles de référence mesurées ou calculées ont pu être comparées aux spécifications fournies par l'ASTM (ASTM D2140-08). D'une manière générale, on note un bon accord, dans la mesure où les valeurs de spécifications fournies ne sont pas toutes assorties d'un intervalle de confiance (Tableau 12). L'indice de réfraction mesuré de l'huile IRM 905 semble toutefois diverger de la valeur spécifiée. Il n'a malheureusement pas été possible d'obtenir la composition en carbone aromatique, paraffinique et naphthénique de trois des 10 huiles, car la méthode ASTM D2140, basée sur le travail de Kurtz *et al.* (1956), ne le permettait pas pour les valeurs de VGC correspondantes. Ces paramètres n'ont donc pas été retenus pour établir des déterminants du gonflement.

Tableau 12 Propriétés physicochimiques des huiles étudiées

Huile	Viscosité à 40 °C (mm ² /s)	Densité à 15 °C (g/mL)	Densité à 20 °C (g/mL)	Indice de réfraction (n à 20°C)	RI	VGC	% C _a	% C _p	% C _n	Point aniline (°C)
Huiles de références										
IRM 901	210,2	0,8800	0,8790	1,4853 (1,4848)	1,046	0,795 (0,790- 0,805)	2 (3)	76 (65)	22 (27)	127 (124 ± 1)
IRM 902	437,3	0,9335	0,9280	1,5101 (1,5105)	1,046	0,862 (0,860- 0,870)	12 (12)	49 (50)	39 (35)	97 (93 ± 3)
IRM 903	29,74	0,9236	0,9170	1,5031 (1,5026)	1,045	0,884 (0,875- 0,885)	16 (14)	39 (45)	46 (40)	73 (70 ± 1)
IRM 905	100,7	0,8827	0,8760	1,4841 (1,4808)	1,046	0,812 -	5 (4)	67 -	28 -	118 (115 ± 1)
Huiles identifiées au milieu de travail										
Lubricut 95	24,97	0,8651	0,8620	1,4726	1,042	0,813	13	31	56	106
Superedge 6754	70,8	0,9387	0,9340	1,4911	1,024	0,893	-	-	-	59
Milform 64SST	268,4	1,0484	1,0490	1,5016	0,977	1,039	-	-	-	87
Huiles spécifiques										
A-9	37,8	0,9064	0,9060	1,4926	1,040	0,859	4	43	54	73
Nu-Clear	48,7	0,8799	0,8780	1,4851	1,046	0,820	6	64	30	102
Blasomill 32	37,7	0,8913	0,8900	1,4791	1,034	0,839	-	-	-	86
Notes : (entre parenthèses) les valeurs de références fournies dans la norme ASTM D471; % C _a , % C _p , % C _n : Pourcentage respectif en carbone de types aromatiques, paraffiniques et naphthéniques; RI : Constante de réfraction; VGC : Constante viscosité-gravité.										

**Tableau 13 Paramètres de solubilité de Hansen (HSP) des polymères étudiés
(tirés de Hansen, 1988 et Plastguide, 1990)**

Polymères	δ_d (MPa ^{1/2})	δ_p (MPa ^{1/2})	δ_h (MPa ^{1/2})
Nitrile	17,5	7,3	6,5
Néoprène	17,6	2,5	5,9
PVC	16,1	7,1	5,9
Polyuréthane	18,1	9,3	4,5

3.2.3.1 Corrélations simples

La Figure 12 présente la relation entre le point aniline des huiles à l'étude et le gonflement des quatre polymères étudiés après 504 heures (3 semaines) d'immersion dans chacune des huiles à température ambiante. Il semble se confirmer, pour le nitrile et le néoprène, qu'un point aniline faible correspond à un taux de gonflement plus important. Les tendances sont moins nettes pour le PVC et le PU, car les valeurs de gonflement sont négatives et/ou proches de zéro. À ce sujet, une valeur négative de gonflement ne correspond pas nécessairement à une absorption nulle de fluide de coupe, mais plutôt à une masse de fluide absorbée inférieure à la masse d'additifs extraite du polymère. L'huile Milform 64SST semble dévier de la tendance (points encerclés sur la Figure 12). Elle se distingue par une VGC et une densité élevées. La Figure 13 présente les relations entre la VGC et le gonflement des quatre polymères étudiés dans les mêmes conditions que précédemment. Le pouvoir solubilisant plus important correspond bien à des valeurs de VGC plus élevées, comme mentionné plus tôt dans cette sous-section. Les données provenant du PVC sont moins probantes que celles des autres polymères.

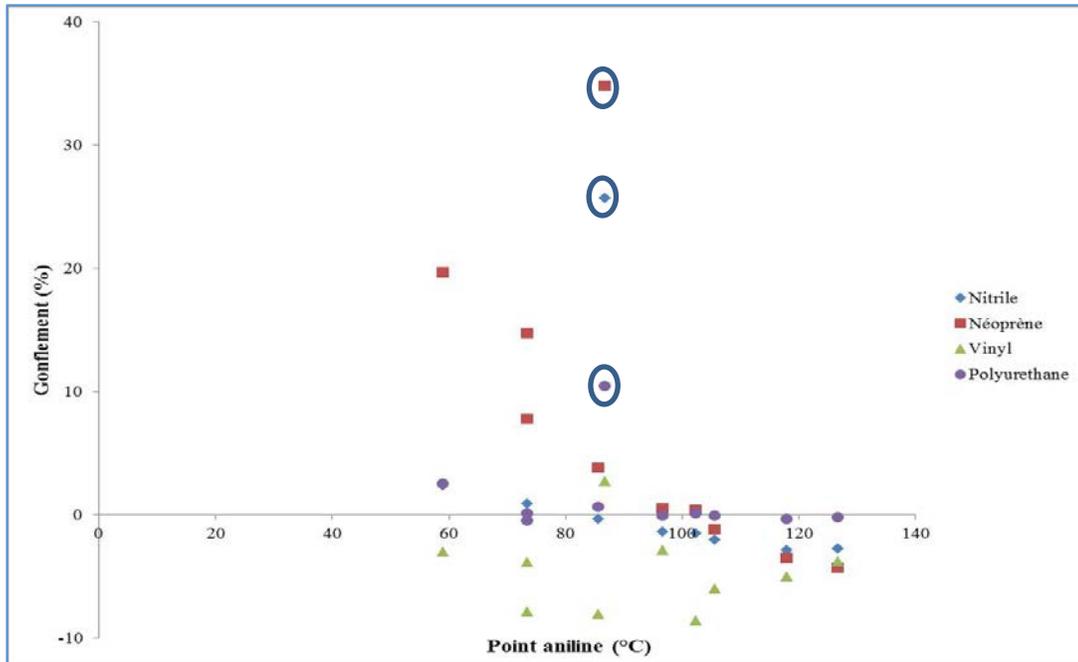


Figure 12 Taux de gonflement des polymères (après 504 h de trempage) en fonction du point aniline des huiles (les points encadrés sont les résultats avec l'huile Milform 64SST).

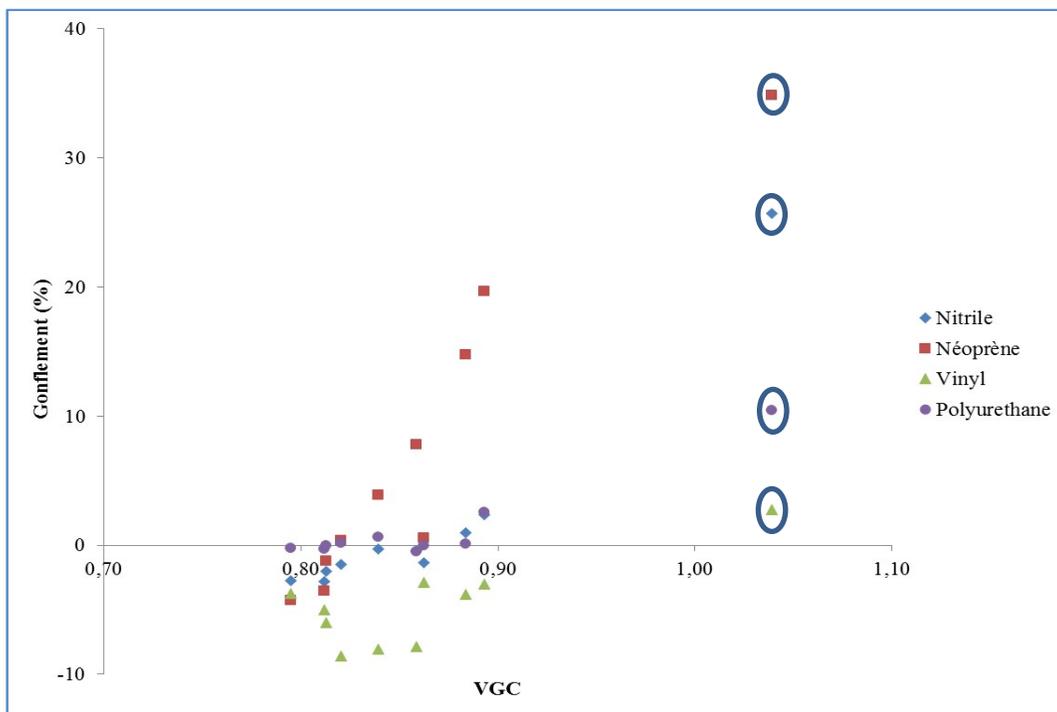


Figure 13 Taux de gonflement des polymères (après 504 h de trempage) en fonction de la constante viscosité-gravité (VGC) des huiles (les points encadrés sont les résultats avec l'huile Milform 64SST).

3.2.3.2 Régression linéaire multiple

Afin de confirmer les tendances observées pour chacun des polymères, une analyse de régression linéaire multiple a été effectuée pour expliquer le gonflement à partir de propriétés des quatre polymères et des 10 huiles. De manière algébrique, cela consiste à déterminer les coefficients d'une équation (équation 11) de la forme :

$$Y = a_0 + \sum_1^n a_i X_i + \varepsilon \quad \text{Équation 11}$$

où Y est la variable dépendante (dans ce cas-ci, le gonflement des différents polymères G), a_0 est une constante, a_i représente les coefficients de la régression linéaire multiple, X_i est la variable indépendante i et ε est l'erreur du modèle.

Ce genre d'analyse a déjà été réalisé pour expliquer le gonflement de polyuréthane et d'autres polymères par des solvants (Makrita *et al.*, 2007). Des approches de traitement de données similaires sont également proposées par Makrita *et al.* (2005) et Bernardo et Vesely (2010). Parmi les trois composantes HSP, celle liée aux interactions intermoléculaires de types « liaisons hydrogènes », δ_h , n'a pas été utilisée, car les fluides de coupe ne sont pas composés majoritairement de molécules présentant de fonctions « OH », « CO », ou d'autres, pouvant générer une liaison hydrogène. L'inclusion des HSP, variable dite « d'intervalles » (Fox, 1999) dans une régression linéaire multiple à titre de variable indépendante est conforme à la pratique et a déjà été proposée dans la littérature (Bielicka-Daszkiwicz *et al.*, 2010). Afin de choisir les propriétés physicochimiques pertinentes des huiles pouvant être intégrées à la régression (variables indépendantes), les résultats de la sous-section précédente ont été pris en compte, et des analyses de corrélation ont été réalisées, comme le montre le Tableau 14.

Tableau 14 Coefficient de corrélation de Pearson : propriétés des fluides de coupe
 (* : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$)

	Viscosité à 40 °C (mm ² /s)	Densité à 15 °C (g/mL)	Densité à 20 °C (g/mL)	Indice de réfraction (n à 20 °C)	RI	VGC	Point aniline (°C)
Viscosité (40 °C)	1	0,475	0,468	0,641*	-0,240	0,319	0,254
Densité (15 °C)	0,475	1	0,999**	0,663*	-0,897**	0,982**	-0,429
Densité (20 °C)	0,468	0,999**	1	0,644*	-0,909**	0,982**	-0,421
Indice de réfraction	0,641*	0,663*	0,644*	1	-0,266	0,583	-0,375
RI	-0,240	-0,897**	-0,909**	-0,266	1	-0,920**	0,326
VGC	0,319	0,982**	0,982**	0,583	-0,920**	1	-0,513
Point aniline	0,254	-0,429	-0,421	-0,375	0,326	-0,513	1

Seul le point aniline n'est pas corrélé à d'autres propriétés physicochimiques, l'indice de réfraction étant, quant à lui, faiblement corrélé à la viscosité. La densité, la VGC et le RI sont, pour leur part, fortement corrélés, et ne devraient donc pas être inclus simultanément dans la régression linéaire multiple. Dans la mesure où l'on souhaite limiter le nombre de variables indépendantes dans la régression, la corrélation des taux de gonflement à trois semaines (504 h) avec chacune des variables a également été examinée (Tableau 15) afin de déterminer celles qui présentaient les meilleures corrélations.

Tableau 15 Coefficient de corrélation de Pearson : gonflement-propriétés des fluides de coupe (* : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$)

Gonflement après 3 semaines de trempage	Viscosité à 40 °C (mm ² /s)	Densité à 15 °C (g/mL)	Densité à 20 °C (g/mL)	Indice de réfraction (n à 20 °C)	RI	VGC	Point aniline (°C)
Nitrile	0,305	0,933**	0,943**	0,392	-0,974**	0,950**	-0,277
Néoprène	0,089	0,908**	0,908**	0,486	-0,879**	0,954**	-0,666*
Vinyle	0,616	0,847**	0,836**	0,579	-0,738*	0,779**	-0,087
Polyuréthane	0,311	0,915**	0,924**	0,325	-0,987**	0,924**	-0,253

Ainsi, en plus des HSP δ_d et δ_p , il serait souhaitable d'inclure au minimum dans la régression soit la densité, soit la VGC et, dans une moindre mesure, le RI. Les équations ci-dessous (équations 12 et 13) montrent les caractéristiques de deux modèles, soit un modèle qui inclut la densité (modèle 1) et un autre qui inclut la VGC (modèle 2).

modèle 1
$$G(\%) = -172,39 + 4,31\delta_d - 1,18\delta_p + 117,14d$$
 Équation 12

Le coefficient de corrélation multiple du modèle 1 ($r = 0,85$, $p < 4 \times 10^{-10}$) indique une bonne prise en compte, statistiquement significative, des effets des variables propres aux polymères et aux huiles. La variation de G est expliquée à 72 % par les variations de δ_d , δ_p et d ($r^2 = 0,72$). Les valeurs des coefficients et de la constante sont également significatives ($p < 0,0001$ pour les quatre termes).

modèle 2
$$G(\%) = -144,19 + 4,31\delta_d - 1,17\delta_p + 91,25VGC$$
 Équation 13

Le coefficient de corrélation multiple du modèle 2 ($r = 0,86$, $p < 2 \times 10^{-10}$) indique une bonne prise en compte, statistiquement significative, des effets des variables propres aux polymères et aux huiles. La variation de G est expliquée à 74 % par les variations de δ_d , δ_p et VGC ($r^2 = 0,74$). Les valeurs des coefficients et de la constante sont également significatives ($p < 0,0003$ pour les quatre termes). L'inclusion de δ_h dans les deux modèles n'améliore pas la qualité de la corrélation et le coefficient de régression associé présente des valeurs non significatives. Les coefficients β , ou « coefficients standardisés » des trois variables δ_d , δ_p et n

(respectivement 0,372, -0.341 et 0,695 pour le modèle 1; et 0,372, -0.341 et 0,706 pour le modèle 2) indiquent que c'est la densité (dans le cas du modèle 1) ou la constante de viscosité-gravité (dans le modèle 2) qui a le plus d'impact sur le gonflement parmi les variables indépendantes choisies.

Les variables propres aux polymères semblent avoir un effet quasi identique sur le gonflement, mais un sens opposé. Une augmentation de δ_d entraîne un accroissement du gonflement, alors qu'une augmentation de δ_p entraîne une diminution du gonflement. Les deux modèles ne permettent pas de prédire avec précision les gonflements (voir Tableau 25 et Tableau 26 de l'annexe A). Cependant, les résidus observés, excepté pour l'huile Milform 64SST, sont souvent inférieurs à 5 % de gonflement. Par ailleurs, les gonflements calculés par le modèle 2, pour les quatre polymères et les 10 huiles, ne changent pas la conclusion dans la sous-section précédente (sous-section 3.2.1) concernant les meilleurs polymères : les plus inertes sont le nitrile et le polyuréthane, alors que le néoprène est celui qui gonfle le plus et que le PVC est celui qui rétrécit le plus (Figure 14).

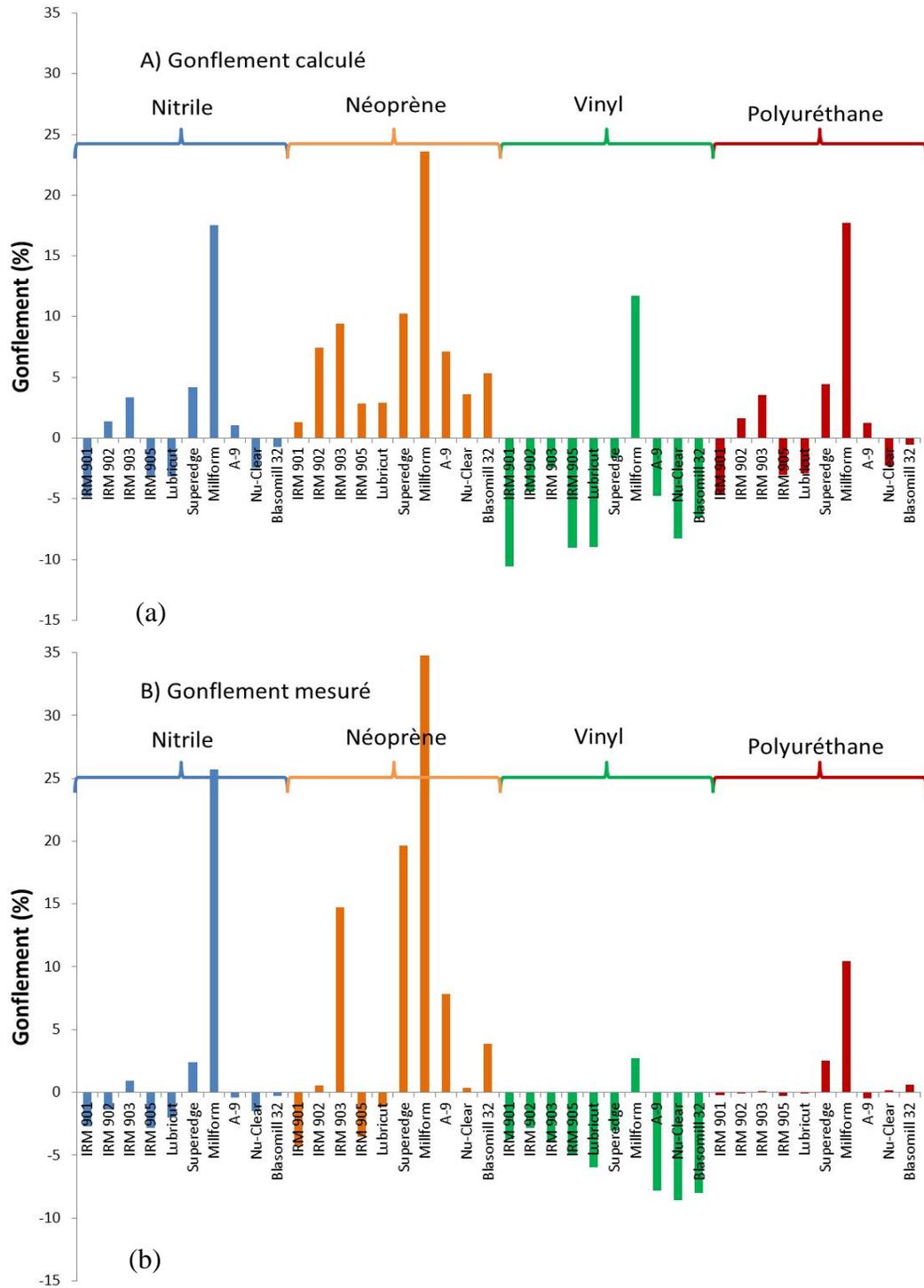


Figure 14 Taux de gonflement des polymères théoriques calculés selon le modèle 1 (a) et mesurés expérimentalement (b), après contamination aux huiles pendant 504 h.

3.2.4 Effet de la température sur le taux de gonflement

Dans certains milieux de travail, les gants de protection peuvent être en contact avec des fluides de coupe à une température élevée ce qui pourrait provoquer une amplification ou même une modification du phénomène de gonflement (Powers et Billmeyer, 1945). La Figure 15 présente l'évolution du taux de gonflement d'une feuille de nitrile en fonction du temps d'exposition à différentes températures. L'augmentation de la température d'exposition conduit à une accélération du phénomène d'absorption. Le taux de gonflement à saturation du nitrile augmente entre la température ambiante et des températures plus élevées (80-120 °C), sans qu'il soit possible de discerner des différences significatives entre 80 °C, 100 °C et 120 °C. Malgré sa bonne résistance aux huiles à la température ambiante, le nitrile s'avère un polymère qui résiste moins aux huiles à haute température. La dégradation chimique de ce matériau provoque la perte des plastifiants et conduit parfois à la formation de produits volatils due à l'oxydation du polymère (Budrugaec, 1992).

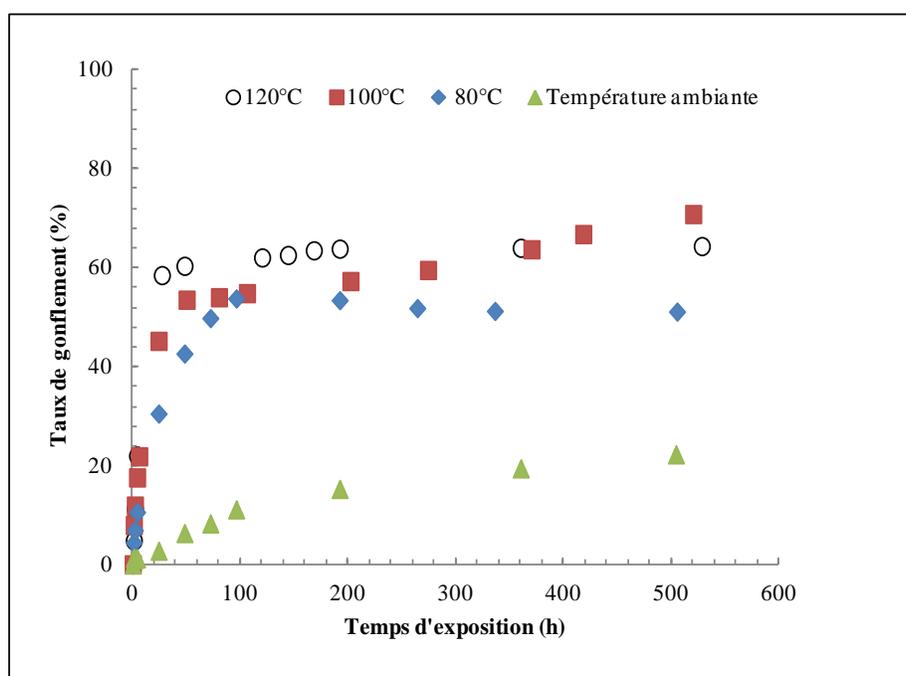


Figure 15 Taux de gonflement du nitrile en fonction du temps d'exposition à différentes températures avec le Milform 64SST.

Dans le cas du butyle, on constate que le taux de gonflement est supérieur à celui du nitrile, et l'effet de la température d'exposition sur le taux de gonflement est négligeable ce qui signifie que ce polymère est plus résistant à la chaleur que le nitrile malgré sa faible résistance aux fluides de coupe, comme illustré à la Figure 16. Cette figure montre que l'absorption du contaminant est initialement linéaire, puis se stabilise à partir d'une exposition d'environ 140 h avec un taux de gonflement maximum d'environ 70 %. On constate que le comportement du butyle n'est pas altéré par la chaleur, car une augmentation de la température ne conduit pas à un changement notable de son taux de gonflement.

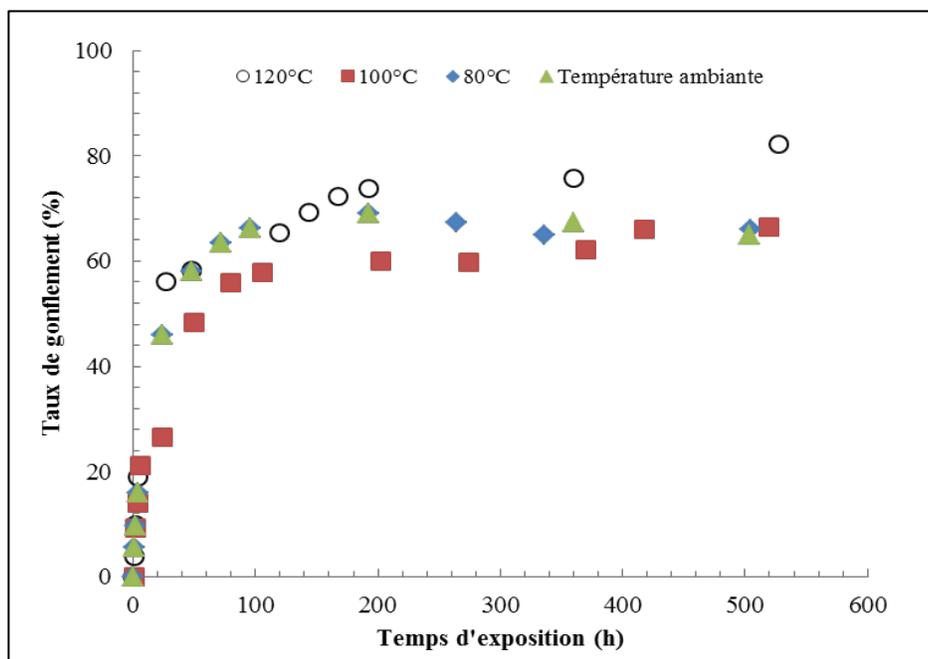


Figure 16 Taux de gonflement du butyle en fonction du temps d'exposition à différentes températures avec le Milform 64SST.

3.2.5 Résumé de la détermination des meilleurs polymères d'enduction

À partir des essais de gonflement réalisés sur six matériaux polymères et sept fluides de coupe, un ordre de résistance chimique a pu être établi, montrant que nitrile et le PU résistaient mieux que le néoprène et le PVC, eux-mêmes résistant mieux que le butyle et le latex. Ces résultats sont conformes à ceux qu'on retrouve dans la littérature (Xu et Que Hee, 2007) et obtenus à partir de données de perméation, bien plus délicates à mettre en œuvre que la mesure du gonflement. Les coefficients de diffusion calculés traduisent globalement cette différence de résistance chimique.

Afin de tenter d'élargir les conclusions de ces essais de gonflement, des essais complémentaires ont été réalisés sur les quatre polymères les plus résistants et trois autres fluides de coupe. L'analyse des données selon une régression linéaire multiple a permis de proposer des modèles qui expliquent jusqu'à 74 % de la variance totale du gonflement. La densité (ou la constante de viscosité-gravité) du fluide ainsi que les paramètres de solubilité δ_d et δ_p des polymères considérés ont un impact significatif sur le gonflement. Ces modèles, sous réserve de les valider par des expérimentations complémentaires, pourraient permettre d'évaluer le gonflement des polymères en question avec des huiles spécifiques sans réaliser nécessairement de mesure de gonflement. Ils pourraient aussi permettre de dresser le portrait du polymère « parfait », en matière de paramètres de solubilité, afin d'atteindre un gonflement « 0 % » selon les propriétés des contaminants étudiés.

Ceci étant, des paramètres ambiants d'utilisation des fluides de coupe peuvent modifier cette résistance chimique. Le nitrile est un polymère plus résistant aux fluides de coupe que le

butyle à température ambiante, mais il perd de sa supériorité quand il est exposé à des températures élevées (80 °C ou plus) en continu. Les conditions réelles d'utilisation des gants devraient donc toujours être bien connues avant de choisir les matériaux de protection appropriés.

Les gants utilisés initialement par les entreprises partenaires de l'étude étaient enduits soit de nitrile, soit de PU. Le choix du matériau était donc adéquat, car ces polymères sont les plus résistants chimiquement aux fluides de coupe. Dans la mesure où l'inertie chimique des matériaux d'enduction devrait favoriser la conservation des propriétés de résistance mécanique mesurées à neuf, il est ainsi cohérent d'avoir obtenu des résultats partiellement conclusifs, comme ceux présentés à la sous-section 3.1.1; en effet, ceux-ci montraient, dans un nombre de cas non négligeable (20 cas sur 48, 42 %), une absence d'effets significatifs des fluides de coupe sur la résistance mécanique.

Cependant, les gants sont exposés en milieu de travail non seulement à des fluides de coupe, mais également à d'autres facteurs pouvant contribuer à la modification de leur résistance à la coupure et à la perforation, tels que les frottements sur une surface (abrasion), la mise en tension (élongation), la transpiration et la présence d'autres produits chimiques. Ainsi, pour avoir une meilleure appréhension de l'effet des fluides de coupe en conditions réelles d'utilisation, des essais en milieu de travail ont été organisés.

3.3 Usure des gants en milieu de travail

3.3.1 Gants sélectionnés pour le programme d'usure en milieu de travail

Sept modèles de gants ont été choisis pour le programme d'usure en milieu de travail. Basé notamment sur des critères de protection et de fonctionnalité, ce choix a été fait à la suite d'un processus itératif de sélection des gants (voir sous-section 2.3.4.3). Pour la protection contre les risques mécaniques, la résistance à la coupure et à la perforation des gants neufs a été mesurée en laboratoire afin de s'assurer qu'elle était équivalente ou supérieure à celle des gants déjà utilisés chez les entreprises partenaires. Pour la protection contre les huiles, les gants devaient être enduits de nitrile ou de polyuréthane, ces matériaux ayant démontré leur meilleure résistance aux fluides de coupe (voir sous-section 3.2.1). Les gants étaient enduits soit sur la paume seulement, soit sur la paume et le dessus des doigts, ou soit sur tout le gant (enduit complet). Pour l'aspect fonctionnalité, les sept gants choisis avaient été préalablement sélectionnés par les représentants des entreprises partenaires, après qu'ils les aient essayés sommairement pour s'assurer de leur potentiel d'offrir confort, dextérité et adhérence, caractéristiques requises pour permettre aux travailleurs de réaliser leurs tâches aux différents postes de travail ciblés. Le Tableau 16 résume l'ensemble des postes de travail et les gants choisis pour chacun de ces postes, alors que le Tableau 17 présente les caractéristiques de ces sept modèles de gants.

Tableau 16 Résumé des postes de travail, des contaminants et des gants choisis pour l'essai de l'usure naturelle en milieu de travail

Entreprise	Poste de travail	Contaminant principal	Modèle de gant habituellement utilisé	Modèle de gants sélectionné
A	Screws-Opérateur	Lubricut 095 pur	Ansell Hycron 27-805	• ATG MaxiChem® Cut™ 56-633
A	Screws-Ajusteur	Lubricut 095 pur	Gant jetable en nitrile	• Showa-Best Atlas 377 • ATG MaxiDry® 56-426
A	Lignes	Superedge 6754 (dilué à 7 %)	Ansell Hyflex 11-900	• Ansell Powerflex 80-813 • PIP G-Tek 19-D655 • Showa-Best Atlas 377
B		Milform 64SST (dilué)	Superior Touch S13XPUQ	• Ansell Powerflex 80-813 • Showa-Best S-Tex 541 • Superior Emerald CX® S13CXPU

Tableau 17 Caractéristiques et propriétés des modèles de gants du programme d'usure en milieu de travail

Manufacturier	Gant	Coupure [†] F ₂₀ ± s (gf)	Perforation [†] F ± s (N)	Matériau enduit	Doublure	Image (tirée du site Web du manufacturier)
ATG	MaxiChem® Cut™ 56-633	1056 ± 94	36,3 ± 8,4	Ni	Nylon	
ATG	MaxiDry® 56-426	177 ± 47	19,1 ± 3,3	Ni	Nylon, Lycra®	
Showa-Best	Atlas 377	382 ± 81	21,2 ± 1,9	Ni + mousse Ni	Nylon, Polyester	
Showa-Best	S-TEX 541	1426 ± 150	10,3 ± 5,5	PU	Fibre Hagane Coil™, fils d'acier	
PIP	G-Tek® 19-D655	470 ± 121	5,5 ± 4,1	PU	Dyneema®, Lycra®	
Ansell	Powerflex 80-813	1044 ± 161	6,7 ± 1,6	mousse néoprène	Kevlar®, modacrylique, fibre de verre	
Superior	Emerald CX® S13CXPU	1902 ± 292	7,9 ± 2,8	PU	Emerald CX® Kevlar®, fils d'acier	

F₂₀ : Force de coupure pour un déplacement de la lame de 20 mm;
F : Force maximale moyenne des tests de perforation;
s : Écart-type;
† : Valeurs mesurées en laboratoire par l'équipe de recherche;
Unité de mesure de la force : 1 N = 101,9716 gf

3.3.2 Effet de l'usure des gants sur leur résistance mécanique

Les gants usagés obtenus des entreprises A (secteurs *Screws* et Lignes) et B ont été caractérisés pour leurs performances résiduelles de résistance à la coupure et à la perforation, et comparés aux performances des gants neufs. Cependant, ces résultats n'ont pas pu être analysés en fonction de l'historique d'utilisation des gants en milieu de travail puisque les questions (issues du questionnaire Q1) relatives au nombre d'heures quotidien pendant lesquelles les gants étaient portés, au type de contaminant ayant été manipulé et durant combien de temps n'ont pas toujours été traitées adéquatement pour tous les gants et tous les postes de travail. De plus, le temps mis pour recevoir les gants au laboratoire afin de débiter les tests de coupure et de perforation était variable. Néanmoins, l'analyse des réponses à ces questions pour l'entreprise A secteur *Screws* a mis en évidence que la durée de contamination des gants, soit la période entre le début de l'utilisation des gants et le début des essais en laboratoire variait entre 197 et 246 heures, selon les modèles et les séries d'essais, et que ce temps n'était pas corrélé aux changements de résistance à la coupure ni à ceux de résistance à la perforation.

Avant de présenter les résistances résiduelles des gants usagés, le Tableau 18 montre les principales raisons pour lesquelles les participants ont cessé l'utilisation des gants (données colligées par le questionnaire Q1). À noter que les participants pouvaient indiquer plus d'une raison (certains ayant même indiqué jusqu'à trois raisons).

Tableau 18 Raisons indiquées par les participants pour avoir cessé l'utilisation des gants lors des essais en milieu de travail

Entreprise et secteur Modèle de gant	Enduit usé/pelé	Gant percé/ coupé/déchiré	Gant trop sale	Gant trop imbibé d'huile	Maximum de jour atteint (4 j)	Autre raison
Entreprise A - <i>Screws</i>		4 %	2 %	11 %	78 %	9 %
ATG MaxiChem Cut 56-633	N/A	N/A	N/A	N/A	100 %	N/A
ATG MaxiDry 56-426	N/A	12 %	N/A	12 %	76 %	N/A
Showa-Best Atlas 377	N/A	N/A	6 %	18 %	65 %	24 %
Entreprise A - Lignes			25 %	8 %	46 %	50 %
Showa-Best Atlas 377	N/A	N/A	22 %	N/A	33 %	67 %
PIP G-Tek 19-D655	N/A	N/A	17 %	N/A	83 %	17 %
Ansell PowerFlex 80-813	N/A	N/A	33 %	22 %	33 %	56 %
Entreprise B	23 %	26 %		7 %	37 %	35 %
Ansell PowerFlex 80-813	29 %	29 %	N/A	12 %	21 %	32 %
Showa-Best S-TEX 541	12 %	20 %	N/A	4 %	32 %	48 %
Superior Emerald CX S13CXPU	27 %	27 %	N/A	5 %	68 %	23 %
Total général	13 %	15 %	5 %	9 %	51 %	29 %
N/A : non applicable						

Dans une certaine mesure, ce tableau est cohérent avec certaines des tâches des travailleurs et il illustre bien l'état dans lequel les gants ont été reçus au laboratoire. Par exemple, dans l'entreprise A secteur *Screws*, les travailleurs ont majoritairement atteint le nombre maximal de quatre jours alloués à l'essai des gants (cette raison est mentionnée dans 78 % des cas). Toujours dans ce secteur, la deuxième raison la plus souvent mentionnée était que les gants étaient trop imbibés d'huile. En effet, de tous les gants reçus, ce sont ceux-là qui semblaient le plus avoir été en contact avec de l'huile. Dans le secteur Lignes de l'entreprise A, les travailleurs ont atteint le nombre maximal de jours alloués à l'essai des gants dans près de la moitié des cas (46 %). Par ailleurs, la saleté des gants est mentionnée comme raison dans 25 % des cas, sachant que plusieurs travailleurs avaient notamment comme tâche d'effectuer l'emballage du produit dans des boîtes de carton. Dans l'entreprise A, très peu de travailleurs ont mentionné l'usure des gants comme raison justifiant l'arrêt des essais (enduit usé/pelé, ou gant percé/coupé/déchiré). Dans les secteurs Lignes et *Screws* de cette entreprise, les gants usagés semblaient visuellement moins usés que ceux reçus de l'entreprise B. Justement, dans l'entreprise B, l'enduit usé/pelé des gants, ou encore les gants percés/coupés/déchirés venaient justifier dans une proportion de 49 % des cas la décision de cesser de les porter.

La majorité des autres raisons signalées concernait l'inconfort des gants (trop chauds, piquants ou irritants pour la peau, trop serrés, etc.), le fait que les gants soient glissants ou encore qu'ils salissent trop les boîtes. Ces raisons se retrouvent d'ailleurs dans les inconvénients associés au port des gants, répertoriés plus loin, à la sous-section 3.3.3.

3.3.2.1 Résistance à la coupure

Une analyse de la variance de la résistance à la coupure a été réalisée par entreprise et par secteur (Tableau 19). Tout comme pour les analyses précédentes relatives à la résistance à la coupure, soit l'étude de la contamination en laboratoire et du nettoyage des gants, la grande variabilité des résultats issues des tests de coupure sur les gants usés en milieu de travail a eu un effet important sur la capacité des tests statistiques à détecter des effets. Dans le cas des gants usés en milieu de travail, seule l'analyse réalisée sur les données de l'entreprise A secteur *Screws* a montré un effet significatif sur la résistance à la coupure ($p < 0,0001$ pour le facteur « État »). Comme mentionné précédemment, la puissance des tests statistiques est difficile à quantifier puisqu'on ne sait pas quelle ampleur d'effet on doit détecter. Ainsi, lorsque les tests statistiques annoncent qu'un effet n'est pas significatif, cela ne signifie pas que l'effet est assurément inexistant, cela signifie plutôt qu'il y a trop de bruit dans les données pour permettre la détection d'un effet, s'il existe.

La Figure 17 présente les valeurs de résistance à la coupure obtenues pour les gants usagés en milieu de travail et, à titre comparatif, celles pour les gants neufs. Les résultats sont présentés pour chaque entreprise, chaque secteur et chaque modèle de gants testé. Les résultats chiffrés sont présentés au Tableau 29 de l'annexe A. La résistance à la coupure demeure inchangée ou a tendance à diminuer (dans 7 cas sur 9, où la diminution varie de 6 à 33 %). À cause de la difficulté de la méthode d'essai de coupure à produire des résultats stables, notamment pour des gants qui ne sont pas neufs, l'effet de l'usure sur cette propriété n'a pas pu être analysé davantage. La variabilité des résultats est révélée par les écarts-types parfois élevés et les coefficients de détermination faibles pour les courbes de régression (les valeurs de R^2 étant

parfois plus petite que 0,5, voir Tableau 28 à l'annexe A). Une discussion sur la méthode d'essai pour la coupure et les sources de variabilité est présentée à la sous-section 3.3.2.2.

Tableau 19 Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de l'usure en milieu de travail sur la résistance à la coupure (significatif à $p \leq 0,05$ *)

Entreprise et secteur	Source de variation	Statistique F	valeur p
Entreprise A - Screws	Gant	102,7582	< 0,0001 *
	État	17,8725	< 0,0001 *
Entreprise A - Lignes	Gant	105,605	< 0,0001 *
	État	0,4658	0,4957
Entreprise B	Gant	44,541	< 0,0001 *
	État	2,337	0,1273

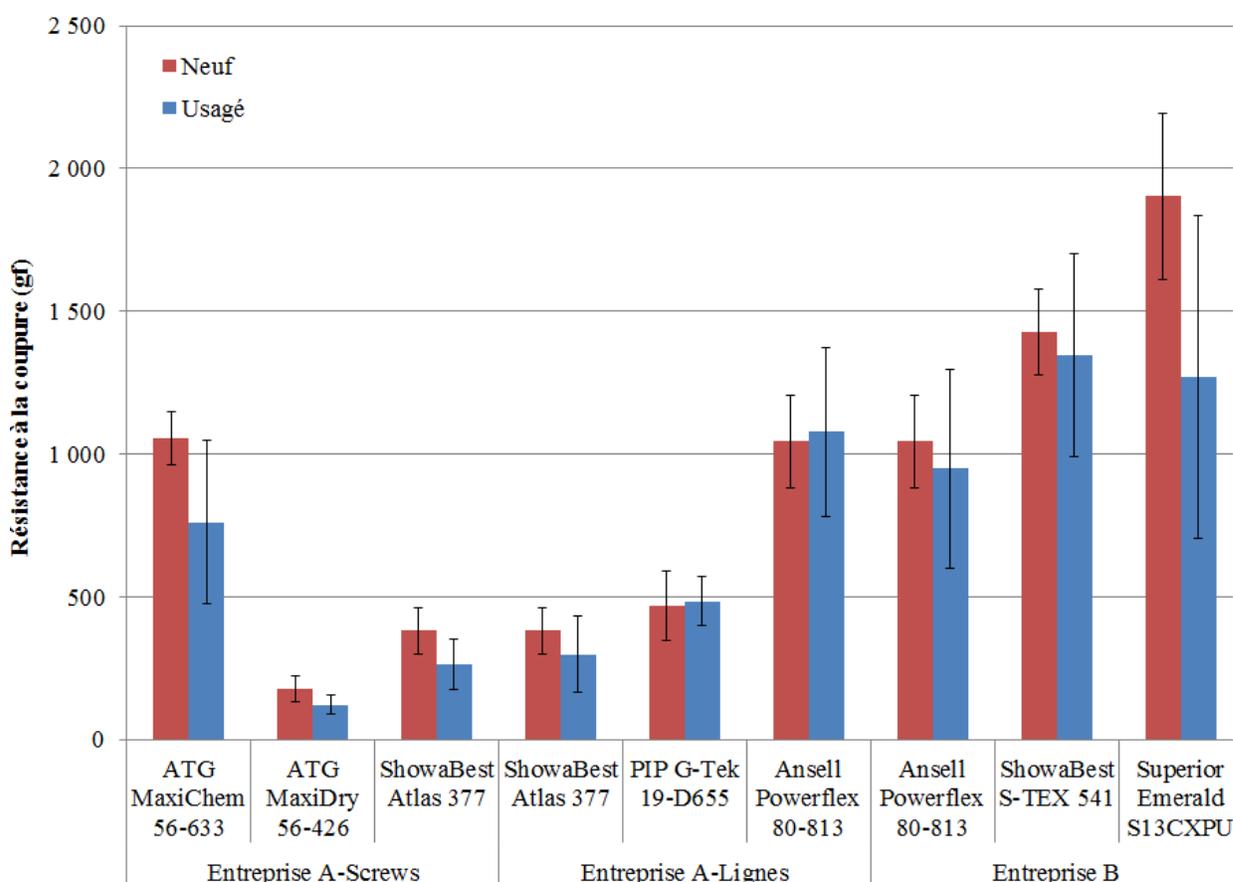


Figure 17 Effet de l'usure des gants en milieu de travail sur la résistance à la coupure des gants.

3.3.2.2 Discussion sur la méthode de mesure de la résistance à la coupure des gants traités

La méthode d'essai pour mesurer la résistance à la coupure des gants de protection est une méthode relativement complexe. Par expérience, la méthode d'essai normalisée ASTM F2992M-15 (ASTM F2992, 2015) a révélé que les mesures présentent une variabilité plus ou moins importante selon le type de matériaux testés, et généralement plus grande que ce qui peut être observé pour la résistance à la perforation par exemple. La variabilité des mesures de coupure est généralement faible pour des matériaux homogènes tels que des membranes polymères. En revanche, la variabilité observée est généralement plus grande pour des gants tricotés ou tissés, qui présentent une hétérogénéité importante, quoique cette variabilité a tendance à diminuer lorsque les gants tricotés sont enduits de polymère. Dans les données qui ont été analysées, que ce soit l'étude de l'effet de la contamination en laboratoire, du nettoyage des gants ou de l'usure en milieu de travail, la variabilité des résultats de coupure sur les gants traités étaient telle que, pour un même échantillon et pour une force donnée, les courses de coupure pouvaient régulièrement passer du simple au double, et même parfois du simple au quintuple.

Les Figure 18 et Figure 19 présentent des exemples de tests de coupure et de courbes de régression sur deux modèles de gants, neufs et usagés en milieu de travail. Les courbes de régression présentent des coefficients de détermination relativement faible, notamment pour les gants usagés. Comme il était prévu que la variabilité des gants usagés allait être importante, la méthode d'essai de coupure avait été ajustée en augmentant considérablement le nombre d'échantillons (plusieurs travailleurs, plusieurs séries d'essais), soit beaucoup plus que pour des gants neufs. Toutefois, la variabilité est demeurée substantielle puisque l'utilisation des gants par les travailleurs d'un même secteur était variée (les gants étaient parfois portés quelques minutes par jour, d'autres fois toute la journée, pour réaliser des tâches diverses). De plus, une différence importante dans l'usure des gants a été observée sur les gants reçus des différentes entreprises. De manière générale, les gants reçus de l'entreprise A secteur *Screws* semblaient le plus avoir été en contact avec de l'huile, ceux du secteur Lignes de l'entreprise A étaient sales, mais moins exposés à l'huile ou à l'usure mécanique, alors que ceux de l'entreprise B semblaient les plus usés.

Une analyse préliminaire des données de l'entreprise A secteur *Screws* (non présentés dans ce rapport) a montré que les gants droits ou gauches, et les gants des séries d'essais n° 1 ou n° 2 ne pouvaient expliquer les variations observées. Les sources de variation des données de coupure sont, entre autres, l'hétérogénéité des gants eux-mêmes, faisant en sorte que même à l'état neuf la variabilité peut parfois être importante (avec des R^2 autour de 0,5-0,6, voir Tableau 30 à l'annexe A), et l'épaisseur des gants aux zones de test. La source de variabilité principale provient probablement de l'usure des gants due à l'activité de travail (frottements et abrasion sur diverses surfaces, élongation). En effet, il est intéressant de constater que l'analyse des données de coupure sur des gants relativement peu usés, comme c'est le cas avec les gants usagés de l'entreprise A secteur *Screws* de même que ceux issus de la contamination en laboratoire, a montré que l'état du gant avait un effet significatif. L'effet de lubrification entre la lame et le matériau causé par la présence d'huile à la surface des échantillons a déjà été démontré par Vu-Khanh *et al.* (2005).

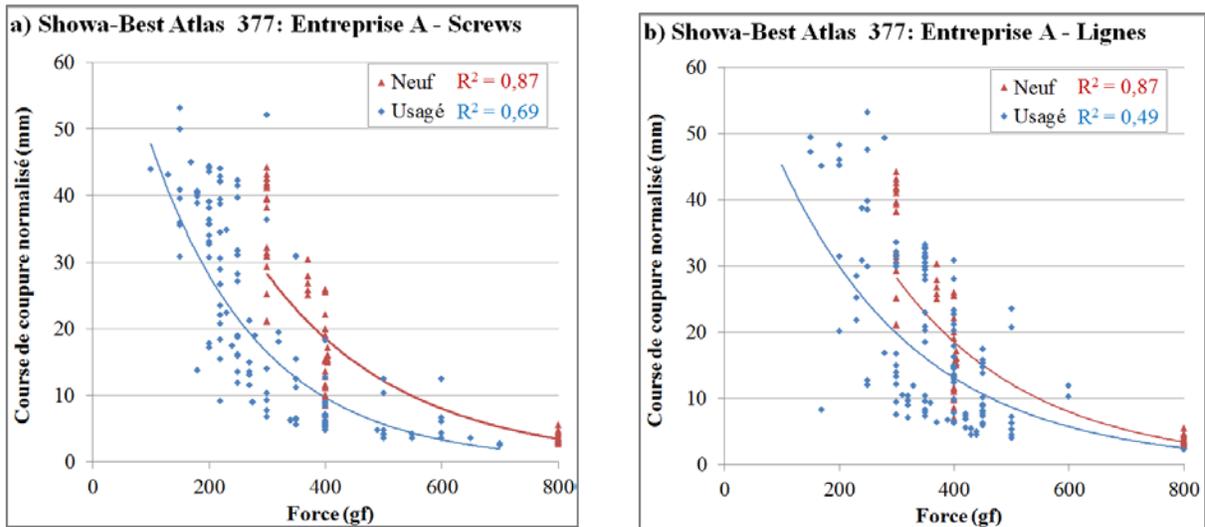


Figure 18 Course de coupure en fonction des forces appliquées pour évaluer la résistance à la coupure du gant Showa-Best Atlas 377, utilisé par l'entreprise A : a) secteur *Screws* et b) secteur *Lignes*.

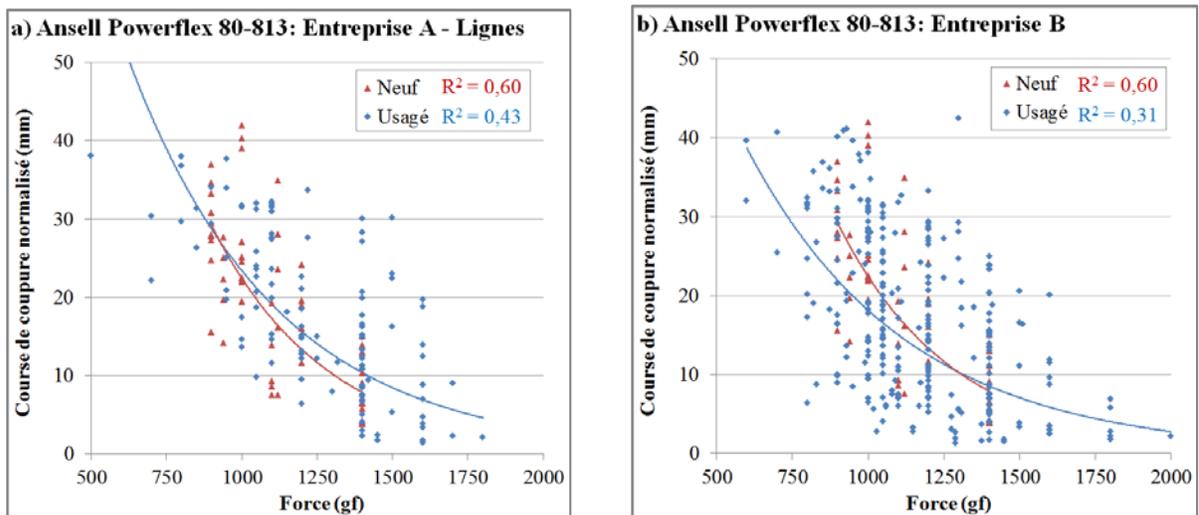


Figure 19 Course de coupure en fonction des forces appliquées pour évaluer la résistance à la coupure du gant Ansell Powerflex 80-813 par : a) l'entreprise A, secteur *Lignes* et b) l'entreprise B.

Les sources de variabilité telles que l'épaisseur des gants aux zones de test, l'usure localisée et la quantité de lubrifiant sur la surface du gant sont tous des facteurs qui n'ont pas été spécifiquement mesurés dans cette étude. Pour utiliser cette propriété dans des études ultérieures, une mise au point de la méthode et un meilleur contrôle des différentes sources de variabilité devraient être considérés.

3.3.2.3 Résistance à la perforation

L'analyse de la variance pour étudier l'effet de l'usure des gants sur la résistance à la perforation a été réalisée par entreprise et secteur (Tableau 20). Pour cette analyse, la résistance à la perforation des gants usagés correspondait à la moyenne des résistances à la perforation obtenues pour les échantillons de gants provenant d'un même travailleur, mains droite et gauche confondues, séries d'essais confondus (deux pour l'entreprise A et trois pour l'entreprise B). Cette analyse montre que le type de gant est le facteur qui explique le plus la variation de la résistance à la perforation dans l'entreprise A secteur *Screws* ($F = 92,4$) et secteur Lignes ($F = 184,3$). Le type de gant ne semble pas être un facteur significatif pour l'entreprise B ($F = 1,3$). Toutefois, l'état du gant est un facteur important pour tous les secteurs et entreprises étudiés ($p < 0,05$). L'interaction entre ces deux facteurs n'a été significative que dans le cas de l'entreprise B.

Tableau 20 Résultats de l'analyse de la variance pour l'effet de l'usure des gants en milieu de travail sur la résistance à la perforation (significatif à $p \leq 0,05$ *)

Entreprise et secteur	Source de variation	DDL	Somme des carrés des écarts	Somme des carrés des écarts moyens	Statistique F	Valeur p
Entreprise A- <i>Screws</i>	Gant	2	2573,5	1286,75	92,3668	< 2,2e-16 *
	État	1	465,34	465,34	33,4035	< 3,7e-7 *
	Gant*État	2	23,53	11,76	0,8444	0,4353
	Résidus	55	766,2	13,93		
Entreprise A- Lignes	Gant	2	2216,99	1108,49	184,2799	< 2e-16 *
	État	1	31,68	31,68	5,2667	0,02645 *
	Gant*État	2	37,13	18,57	3,0865	0,05544
	Résidus	45	270,69	6,02		
Entreprise B	Gant	2	21,09	10,547	1,3105	0,27704
	État	1	114,05	114,055	14,1727	0,0003729 *
	Gant*État	2	66,88	33,441	4,1555	0,0202503 *
	Résidus	62	498,94	8,047		

La Figure 20 présente les valeurs de résistance à la perforation obtenues pour les gants usagés en milieu de travail et pour les gants neufs, de même que les résultats des analyses post hoc concernant les différences significatives. Les résultats sont fournis pour chaque entreprise, chaque secteur et chaque modèle de gants testé. Les résultats chiffrés sont présentés au Tableau 30 de l'annexe A. De manière générale, il y a une diminution plus ou moins importante de la résistance à la perforation des gants. Cette perte de résistance a été significative pour quatre des situations de travail, variant de -20 à -49 %. Dans les autres cas, la diminution de la résistance de 4-5 % a été non significative. Comme mentionné à la sous-section 3.1.1, la diminution de résistance à la perforation peut être due à la dégradation chimique liée à l'action plastifiante des fluides de coupe qui pourrait pénétrer à travers la membrane polymère du gant (Magryta *et al.*, 2006 ; Dolez *et al.*, 2011), comme cela a été observée dans d'autres études (Dolez *et al.*, 2011, Vu-Khanh *et al.*, 2005). Cependant, puisque

les polymères d'enduction des gants (nitrile ou PU) ont démontré leur relative résistance aux fluides de coupe (voir les résultats des essais de gonflement en laboratoire à la sous-section 3.2), il est possible que cette diminution soit également (et possiblement surtout) due à l'usure des gants et à la dégradation mécanique qui en découle.

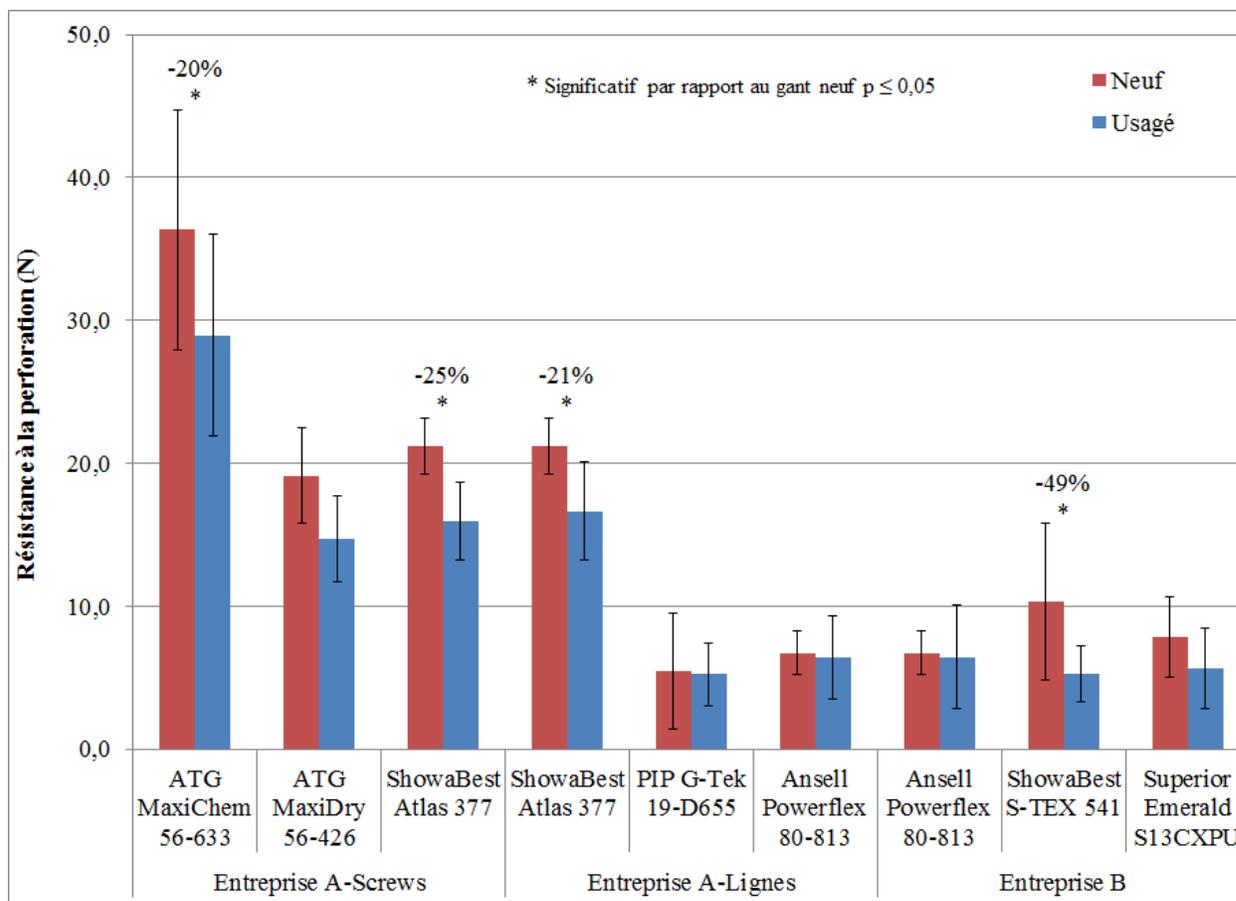


Figure 20 Effet de l'usure des gants en milieu de travail sur leur résistance à la perforation.

La variabilité des résultats est relativement grande, avec des coefficients de variation allant de 9 à 75 % (voir Tableau 30, annexe A). Cette variabilité est d'abord due à l'hétérogénéité des gants, de telle sorte que, même à l'état neuf, elle est très importante. En effet, lors des tests de perforation réalisés sur des gants composés d'un tricot enduit d'un polymère, une fois que la sonde a traversé l'enduit, il y a une grande probabilité qu'elle passe entre les mailles du tricot. Cependant, la sonde peut aussi parfois « s'accrocher » à une maille du tricot, faisant ainsi augmenter la force de perforation. De plus, la variabilité des gants usagés peut être plus importante que celle des gants neufs puisqu'ils n'ont pas nécessairement été usés de la même manière, les tâches n'étant pas identiques pour un même type de poste.

3.3.2.4 Observation des effets de l'usure en milieu de travail sur la morphologie des gants

L'observation au microscope optique des gants usagés du secteur des *Screws* a mis en évidence qu'une fine pellicule d'huile est présente à la surface des gants (zones visuellement plus brillantes en raison de la réflexion de la lumière sur l'huile) comme observé pour les gants Showa-Best Atlas 377 (Figure 21b, c et d), les gants ATG MaxiDry 56-426 (Figure 22b), et les gants ATG MaxiChem 56-633 (Figure 23b).

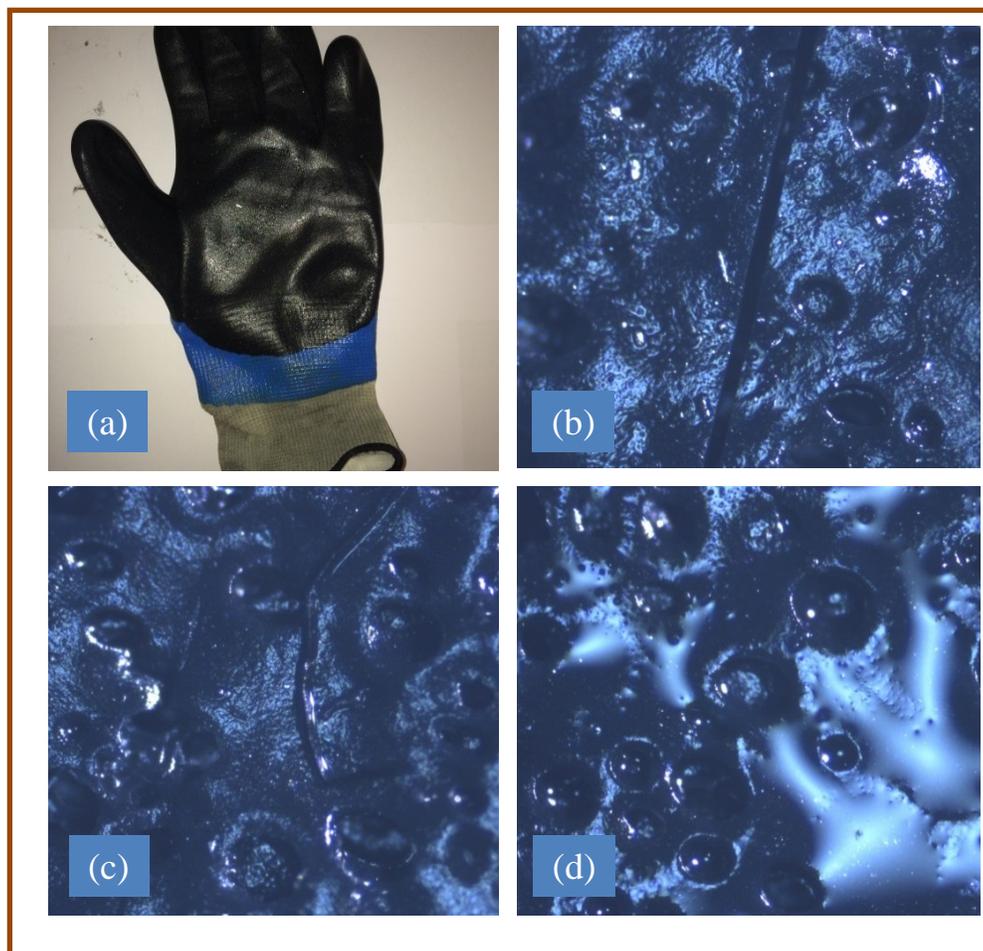


Figure 21 Photo (a) et images par microscopie optique (grossissement x50) (b, c et d) de la paume d'un gant usagé du modèle Showa-Best Atlas 377, utilisé par l'entreprise A – secteur Screws.

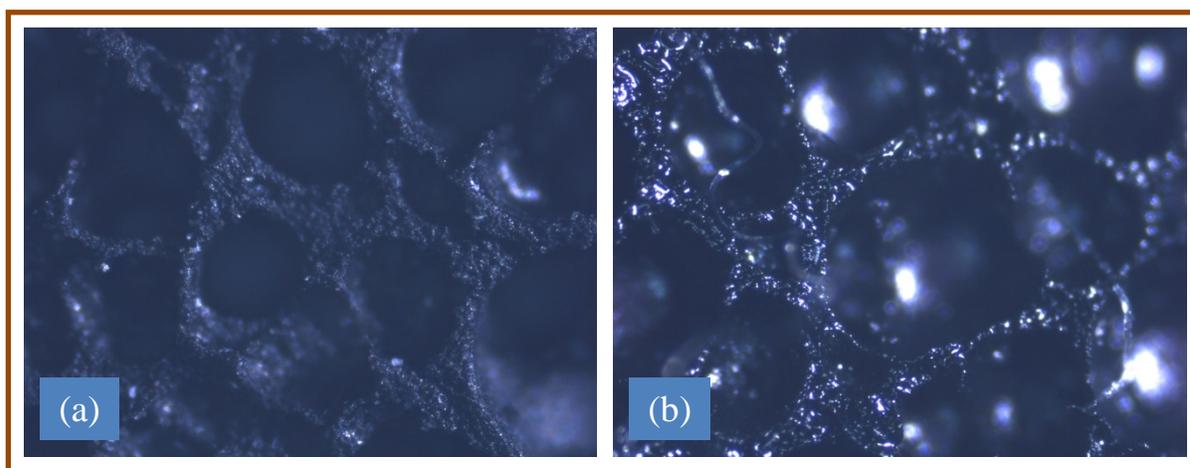


Figure 22 Images par microscopie optique (grossissement x50) de la paume d'un gant neuf (a) et d'un gant usagé (b) du modèle ATG MaxiDry 56-426.

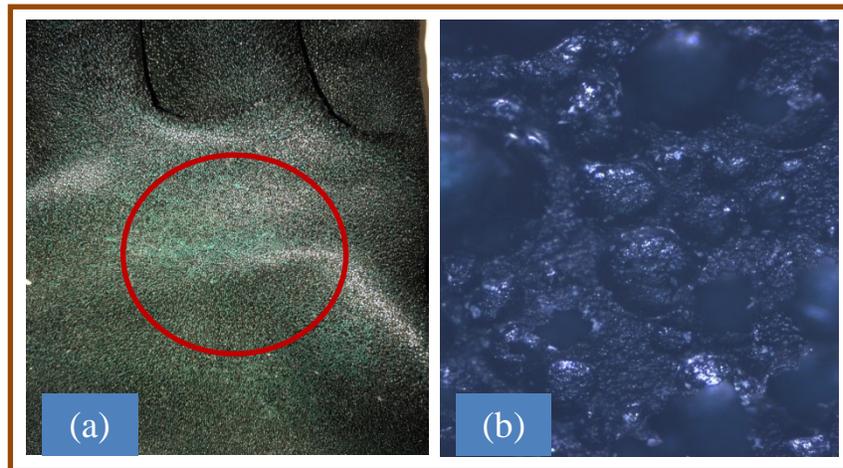


Figure 23 Photo (a) et image par microscopie optique (grossissement x50) (b) de la paume d'un gant usagé du modèle ATG MaxiChem 56-633.

De plus, les plus gros pores ne sont pas nécessairement remplis d'huile, ce qui est bien visible à la Figure 21d, à cause de la différence de polarité entre les huiles et le matériau. L'observation des gants au microscope a également mis en évidence des signes d'usure et d'endommagement de la surface de l'enduit, par exemple à la surface des gants Showa-Best Atlas 377 (Figure 21b et c), signes visibles au microscope, mais difficilement détectables à l'œil nu (Figure 21a). Les gants ATG MaxiChem 56-633 ont montré une surface inhomogène après usure en milieu de travail comme indiqué sur les images de la paume du gant (Figure 23a). Il y avait des endroits très usés sur la couche d'enduction (cercle rouge), laissant entrevoir la doublure verte entre les pores. Il est à noter que ces endommagements mécaniques n'ont pas toujours été observés pour tous les gants étudiés.

3.3.3 Perception des travailleurs et acceptabilité

Perception de la protection, de la fonctionnalité et du confort des gants (Q1)

La Figure 24 expose l'appréciation des aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort des gants, moyennée pour l'ensemble des travailleurs des différents secteurs. Comme l'appréciation était basée sur une échelle à trois niveaux (1-faible, 2-acceptable, et 3-excellent), une cote moyenne élevée indique que le gant a été apprécié. Chez l'entreprise A secteur *Screws*, les gants testés ont globalement été assez appréciés des travailleurs, avec des cotes moyennes se situant entre 2,00 et 3,00 pour tous les aspects, à l'exception de la respirabilité dans le cas du gant Showa-Best Atlas 377. Pour ce secteur, la variabilité des réponses est relativement faible comparativement à celle des autres secteurs, montrant ainsi une relative uniformité des travailleurs de ce secteur quant à leur perception de la protection, de la fonctionnalité et du confort des gants. Cette uniformité peut s'expliquer par le fait que les tâches d'ajusteur ou les tâches d'opérateur sont sensiblement les mêmes d'un travailleur à l'autre, peu importe la machine sur laquelle ils travaillent.

Pour l'entreprise A secteur Lignes, les gants testés ont globalement été moins appréciés des travailleurs, avec des cotes moyennes se situant entre 1,00 et 2,75 pour tous les aspects. Pour ce secteur, la variabilité des réponses est relativement importante comparativement à celle du secteur *Screws*, ce qui s'explique par le fait que les tâches de ce secteur pouvaient être différentes d'un travailleur à l'autre. Les aspects les moins appréciés, avec des cotes de 1,50 ou moins, sont la prise à sec du gant Ansell Powerflex 80-813, la dextérité, la respirabilité, l'ajustement au poignet et l'enfilage des gants Ansell Powerflex 80-813 et Showa-Best Atlas 377, ainsi que le confort général du gant Showa-Best Atlas 377.

Pour l'entreprise B, l'appréciation des différents aspects des gants testés est assez variable, avec des cotes moyennes se situant entre 1,45 et 3,00 pour tous les aspects. Pour cette entreprise, la variabilité des réponses est importante puisque différents départements ont été inclus dans l'étude, les tâches étant très variées d'un département à l'autre et d'un travailleur à l'autre. Il est à noter que la protection ressentie contre la chaleur, l'imperméabilité aux liquides, la prise d'objets huileux et la prise d'objets mouillés sont quatre aspects qui n'ont été évalués que par un peu plus de 60 % des travailleurs (résultats non illustrés). Ceux qui n'ont pas répondu ou qui ont indiqué N/A (non applicable) ne l'ont possiblement pas fait parce que leurs tâches ne leur permettaient pas d'évaluer ces aspects. D'ailleurs, plusieurs gants testés dans cette entreprise n'ont pas semblé avoir été en contact avec de l'huile, ou si peu, comparativement aux gants testés dans l'entreprise A. Par ailleurs, les gants ont semblé être plus usés que ceux provenant de l'entreprise A.

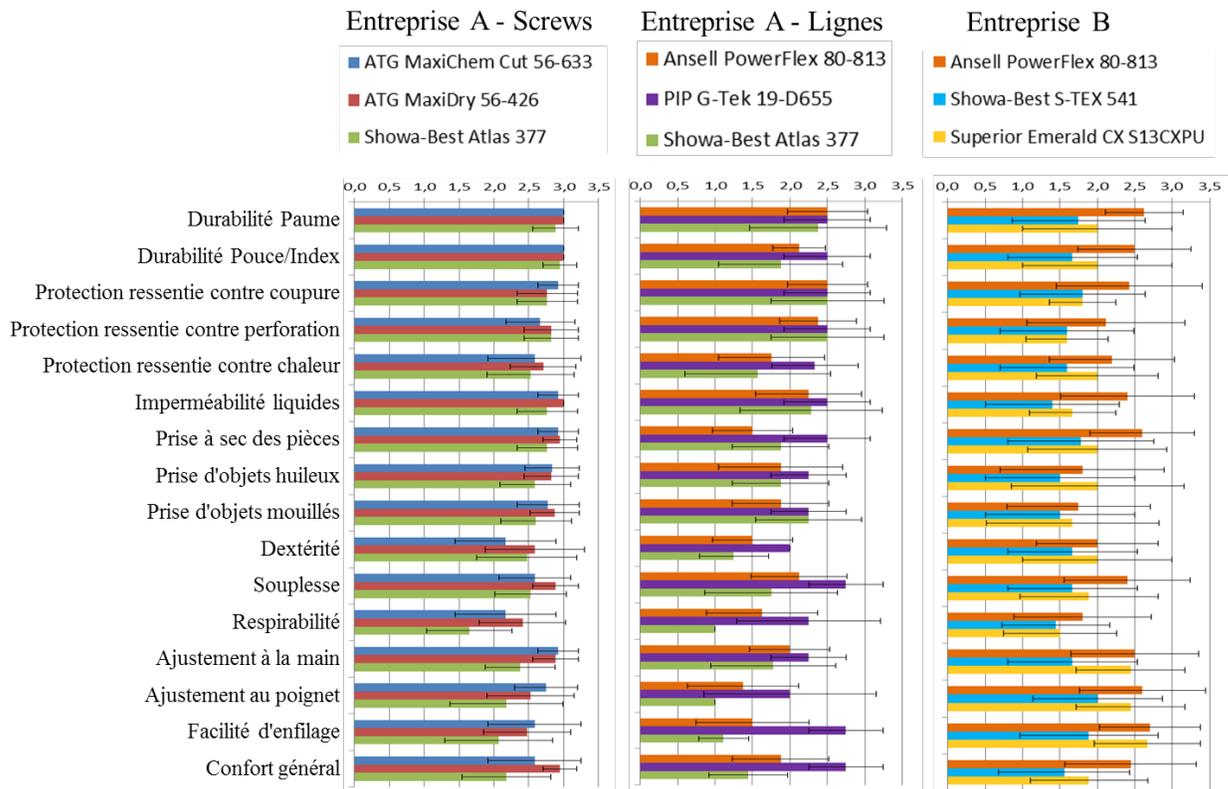


Figure 24 Moyennes (et écarts types) de l'appréciation des gants selon différents aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort, donnée par l'ensemble des travailleurs des trois secteurs. Plus la cote se rapproche de la valeur 3, plus le gant a été apprécié.

Le Tableau 21 présente l'appréciation globale des gants pour chaque milieu étudié, basée sur la moyenne des appréciations données par les travailleurs sur les aspects de protection, de fonctionnalité et de confort (Figure 24). Il en ressort que pour l'entreprise A secteur *Screws*, le gant ATG MaxiChem Cut 56-633 a été très apprécié pour les tâches d'opérateur, avec une cote moyenne de 2,71. Pour les tâches d'ajusteur, le gant ATG MaxiDry 56-426 a obtenu un meilleur score (cote moyenne de 2,79) que le gant Showa-Best Atlas 377 (2,51). L'appréciation du gant ATG MaxiDry 56-426 a également été plus marquée parmi les travailleurs, comme le montre l'écart-type moins élevé pour ce gant (0,19) que pour le gant Showa-Best Atlas 377 (0,35).

Pour l'entreprise A secteur Lignes, le gant PIP G-Tek 19-D655 a été plus apprécié (cote moyenne de 2,41) que les gants Ansell PowerFlex 80-813 (1,92) et Showa-Best Atlas 377 (1,78). La variabilité de ces cotes moyennes est cependant assez élevée, indiquant que ces gants ne font pas l'unanimité parmi les travailleurs.

Pour l'entreprise B, les gants Ansell PowerFlex 80-813 et Superior S13CXPU ont été moyennement appréciés, avec des cotes moyennes de 2,30 et 1,97 respectivement. Le gant Showa-Best S-TEX 541 n'a pas été très apprécié (1,66), et ce, de manière relativement unanime si l'on en juge par la faible variabilité (écart-type de 0,16).

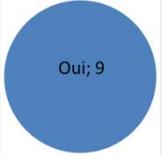
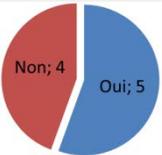
Tableau 21 Appréciation globale des gants basée sur la moyenne des cotes obtenues pour l'ensemble des aspects relatifs à la protection, à la fonctionnalité et au confort

Entreprise - poste	Modèle de gants	Moyenne	Écart-type
A - <i>Screws</i>	ATG MaxiChem Cut 56-633	2,71	0,26
	ATG MaxiDry 56-426	2,79	0,19
	Showa-Best Atlas 377	2,51	0,35
A - Lignes	Showa-Best Atlas 377	1,78	0,52
	PIP G-Tek 19-D655	2,41	0,24
	Ansell PowerFlex 80-813	1,92	0,37
B	Ansell PowerFlex 80-813	2,30	0,32
	Showa-Best S-TEX 541	1,66	0,16
	Superior Emerald CX S13CXP	1,97	0,32

Appréciation et comparaison des gants (Q2)

Les résultats du questionnaire Q2 pour l'entreprise A secteur *Screws* sont présentés au Tableau 22. Ce tableau montre que les gants testés ont été plus appréciés que les gants habituels, selon leur rang de préférence, et ce, tant pour les tâches d'ajusteur que pour celles d'opérateur. L'appréciation des gants Showa-Best Atlas 377 est assez partagée, alors que cinq travailleurs sur neuf seraient prêts à les adopter dans leur milieu de travail. Bien que ce modèle de gant ait plusieurs avantages, les travailleurs n'ont pas aimé le design du poignet qui, selon eux et dans des situations où la présence d'huile est importante, protège peu, absorbe l'huile, est trop serré, garde trop la chaleur et l'humidité à l'intérieur et rend le gant difficile à enfiler. Cependant, l'appréciation des gants ATG MaxiDry 56-426 pour les tâches d'ajusteur et des gants ATG MaxiChem Cut 56-633 pour les tâches d'opérateur est unanime : les travailleurs sont prêts à les adopter pour effectuer leur travail. Les avantages de ces gants, selon les travailleurs, sont notamment la protection (incluant celle du poignet), la dextérité, l'adhérence, la souplesse et la respirabilité.

Tableau 22 Synthèse de la perception des travailleurs relative aux gants testés en milieu de travail pour l'entreprise A secteur *Screws*

	Modèle de gant	Ordre de préférence*	Avantage	Inconvénient	Prêt à adopter ce gant pour le travail ?
Ajusteur	ATG MaxiDry 56-426	1,0	<ul style="list-style-type: none"> Bonne protection; Résiste bien à la chaleur; Bonne dextérité; Souple; Bonne adhérence; Ne retient pas l'humidité à l'intérieur; Poignet bien protégé, car gant complètement enduit et long; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> Aucun, pour plusieurs travailleurs; Manipulation parfois difficile de petits objets; Un peu difficile à enfiler. 	
	Showa-Best Atlas 377	2,2	<ul style="list-style-type: none"> Bonne protection; Résiste bien à la chaleur; Bonne adhérence; Bonne dextérité; Souple; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> La bande élastique aux poignets : <ul style="list-style-type: none"> o ne protège pas; o absorbe l'huile, car pas d'enduit; o inconfortable, trop serrée et garde trop la chaleur et l'humidité à l'intérieur; Difficile à enfiler. 	
	Gant jetable en nitrile	2,8	<ul style="list-style-type: none"> Souple. 	<ul style="list-style-type: none"> Déchire facilement; Protection insuffisante; Évacue mal la transpiration. 	Gant habituel
Opérateur	ATG MaxiChem Cut 56-633	1,0	<ul style="list-style-type: none"> Bonne protection contre la coupure et la chaleur; Poignet bien protégé, car gant complètement enduit et long; Bonne dextérité; Bonne adhérence; Très souple; Ne retient pas l'humidité à l'intérieur; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> Aucun, pour certains travailleurs; Moins résistant à la chaleur; Trop épais; Plus chaud que les gants habituels (Ansell Hycron); Difficile à enfiler. 	
	Ansell Hycron 27-805	2,0	<ul style="list-style-type: none"> Très résistant à la coupure et à la chaleur; Gants fiables. 	<ul style="list-style-type: none"> Ne protège pas les poignets : <ul style="list-style-type: none"> o rebord en tissu; o poignet trop large, des pièces et copeaux peuvent y entrer; L'huile traverse avec le temps; Mauvaise dextérité; Inconfortable; Raide, pas de souplesse, difficulté à bouger les doigts; Très épais; Gants mouillés à l'intérieur et ne sèchent pas; Trop grand, taille unique (one size); Vieux modèle. 	Gant habituel

* Rang moyen

Les résultats du questionnaire Q2 pour l'entreprise A secteur Lignes sont présentés au Tableau 23. Ce tableau montre que les gants testés n'ont pas été très appréciés par les travailleurs ou ne convenaient pas à leurs tâches. La majorité des travailleurs n'est pas prête à adopter ces gants, à l'exception d'un seul travailleur qui a apprécié les modèles Ansell Powerflex 80-813 et Showa-Best Atlas 377. La durabilité des gants testés est un des rares avantages mentionnés. Il est possible que la taille des gants n'ait pas été choisie convenablement, étant donné les commentaires du genre « trop serré » ou « pas assez ajusté » qui ont été évoqués. Globalement, tous les gants, y compris les gants habituels Ansell Hyflex 11-900, se salissent au contact des huiles et maculent par la suite les boîtes de carton lors de la manipulation pour l'emballage des produits.

Tableau 23 Synthèse de la perception des travailleurs sur les gants testés en milieu de travail pour l'entreprise A secteur Lignes

Modèle de gant	Ordre de préférence*	Avantage	Inconvénient	Prêt à adopter ce gant pour le travail ?
Ansell Hyflex 11-900	1,0	<ul style="list-style-type: none"> Durabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> Salit trop les cartons. 	Gant habituel
Ansell Powerflex 80-813	2,4	<ul style="list-style-type: none"> Durabilité; Bien ajusté; Confortable, mais un peu serré. 	<ul style="list-style-type: none"> Salit trop les cartons; Se salit vite; Poignets trop serrés. 	
Showa-Best Atlas 377	3,0	<ul style="list-style-type: none"> Durabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> Salit trop les cartons; Pas assez ajusté; Trop chaud; Difficile à enfiler; Mauvaise respirabilité. 	
PIP G-Tek 19-D655	3,6	<ul style="list-style-type: none"> Durabilité. 	<ul style="list-style-type: none"> Salit trop les cartons; Pas assez ajusté; Trop serré; Trop chaud; Pique le poignet. 	

* Rang moyen

Les résultats du questionnaire Q2 pour l'entreprise B sont présentés au Tableau 24. Les travailleurs, dans l'ensemble, préfèrent leur modèle de gant habituel (Superior Touch S13SXPUQ), notamment pour l'adhérence, le confort, et la dextérité qu'il offre. Cependant, on lui reproche de ne pas être durable et de ne pas protéger suffisamment des échardes ou de la laine isolante, qui passe au travers. Six travailleurs sur 12 ont apprécié le modèle Ansell Powerflex 80-813 et sont prêts à l'adopter pour leur travail, notamment parce que la laine ne passe pas au travers et qu'il offre une bonne dextérité, et ce, malgré le fait que ces travailleurs l'aient trouvé glissant dans certaines situations. Ils ont d'ailleurs préféré ce gant plutôt que leur modèle habituel. À l'opposé, les autres travailleurs, qui ne sont pas prêts à adopter le modèle Ansell Powerflex 80-813, lui reprochent notamment d'être trop glissant. Les tâches

effectuées sont très différentes d'un département à l'autre, ce qui explique en partie les opinions divergentes. Les autres modèles de gants, Superior Emerald S13CXPU et Showa-Best S-TEX 541, ont été moins bien appréciés des travailleurs qui, généralement, ne sont pas prêts à les adopter pour leur travail. Selon les participants, ces gants sont glissants, mal ajustés et peu confortables, ce qui constitue leurs principaux inconvénients.

Tableau 24 Synthèse de la perception des travailleurs† sur les gants testés en milieu de travail pour l'entreprise B

Modèle de gant	Ordre de préférence*	Avantage	Inconvénient	Prêt à adopter ce gant pour le travail ?
Superior Touch S13SXPUQ	1,5	<ul style="list-style-type: none"> Bonne adhérence; Bonne dextérité; Souple; Bonne taille, pas serré; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> La laine passe au travers; Ne protège pas des échardes de métal; Pas résistant à la soudure; Déchire facilement; S'use vite; Pas imperméable, devient mouillé à cause du savon; Salit. 	Gant habituel
Ansell Powerflex 80-813	2,3	<ul style="list-style-type: none"> La laine ne passe pas au travers; Ne fond pas à la soudure; Bonne dextérité; Bonne adhérence; Bonne respirabilité; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de dextérité; Trop épais, ne peut pas taper à l'ordinateur et prendre un stylo; Glissant avec le « savon », pas capable de prendre les « die »; Pas de souplesse; Trop chaud, pas perméable; Trop serré, notamment du poignet aux jointures; Irrite la peau, pique. 	
Superior Emerald S13CXPU	3,3	<ul style="list-style-type: none"> La laine ne passe pas au travers; « Pas pire »; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas résistant à la soudure; Glissant avec le « savon »; Dangereux, adhère trop à l'aluminium; Trop serré aux jointures, serre les mains; Trop grand; Irrite la peau, pique; Pas confortable. 	
Showa-Best S-TEX 541	3,5	<ul style="list-style-type: none"> La laine ne passe pas au travers; Bonne prise (adhérence); Moins chaud que les gants blancs (gant habituel, Superior S13SXPUQ); Ne salit pas, moins salissant que les gants blancs; Confortable. 	<ul style="list-style-type: none"> Glissant, notamment avec les « die »; Pas souple; Trop serré; Fait mal aux mains. 	

† À noter que, sur les 12 travailleurs ayant répondu au questionnaire Q2, huit d'entre eux ont parfois classé des gants en attribuant le même rang à plus d'un modèle (par exemple : 1-1-4-4, 1-4-4-4, 1-2-4-4 ou encore 1-2-3-3), au lieu de classer par ordre de 1 à 4.

* Rang moyen

3.3.4 Résumé de l'usure des gants en milieu de travail

Le programme d'usure des gants en milieu de travail a permis de mettre en évidence une perte de résistance à la perforation des gants testés de 20 à 49 %, à l'exception des gants Ansell Powerflex 80-813 et PIP G-Tek 19-D655. Cette mise en évidence pour la résistance à la perforation a pu se faire malgré la variabilité liée à l'hétérogénéité des gants et à l'usure diversifiée en milieu de travail. Cependant, l'effet de l'usure des gants sur la résistance à la coupure a pu être démontré pour l'entreprise A secteur *Screws* seulement, la variabilité des données rendant difficile la détection d'effets. Dans le cadre de cette étude, la durée maximale des tests des gants était fixée à quatre jours par l'équipe de recherche, raison citée par les travailleurs dans une majorité relative de cas pour expliquer l'arrêt d'utilisation des gants. Autrement dit, sans consignes, les gants auraient pu être utilisés plus longtemps par les travailleurs, et la résistance mécanique aurait pu encore diminuer, exposant davantage les travailleurs aux risques. Cela devrait questionner à la fois les pratiques en matière de santé et de sécurité du travail des entreprises dans la gestion des « temps de service » des gants, mais aussi celles des manufacturiers dans leurs recommandations. Une nouvelle norme en développement devrait permettre d'améliorer la connaissance de ce temps de service (Irzmańska et Stefko, 2015).

Les résultats traduisant l'acceptation des gants testés démontrent qu'il n'existe pas de gants universels, valables pour toutes les tâches professionnelles, dans tous les types d'environnements de travail. Certains gants peuvent être largement acceptés (ATG MaxiDry 56-426) ou refusés (Showa-Best S-TEX 541), ou encore les résultats peuvent être extrêmement partagés parmi les travailleurs.

L'étude a permis de déterminer deux types de gants pouvant remplacer ceux actuellement utilisés au sein de l'entreprise A pour le secteur *Screws*, soit les gants ATG MaxiDry 56-426 pour les tâches d'ajusteur et les gants ATG MaxiChem Cut 56-633 pour les tâches d'opérateur. Aucun type de gants, parmi ceux testés, n'a toutefois été retenu par les travailleurs de l'entreprise A pour le secteur Lignes. Également, aucun consensus n'est ressorti des essais dans l'entreprise B. Cela souligne l'importance de l'interaction humain-tâches de travail dans le choix des équipements de protection individuelle en général, et des gants en particulier.

4. CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser l'effet des contaminants de type « fluide de coupe » sur la résistance mécanique des gants de protection, en conditions contrôlées en laboratoire et en milieu de travail. Trois milieux du secteur de l'usinage du métal ont participé à cette étude, soit les secteurs Lignes et *Screws* de l'entreprise A, ainsi que l'entreprise B. Des gants de protection et des fluides de coupe en place dans les entreprises ont été identifiés. Différents tests en laboratoire ont été réalisés, notamment l'exposition des gants à des fluides de coupe (ceux utilisés chez les entreprises partenaires) pour des durées de 0, 6 et 24 h et le nettoyage des gants selon différents traitements. La mesure de la résistance mécanique de ces gants à la suite d'une contamination ou d'un nettoyage et des tests de gonflement de différents polymères (représentatifs des matériaux d'induction des gants) exposés à des fluides de coupe ont également été réalisés. Par la suite, de nouveaux gants ont été sélectionnés en collaboration avec les entreprises, et un programme d'usure des gants en milieu de travail a été réalisé. La résistance mécanique des gants usagés a été comparée à celle des gants neufs et un questionnaire a permis d'évaluer la satisfaction des travailleurs vis-à-vis des nouveaux gants.

Les analyses de gonflement de six matériaux polymères par sept fluides de coupe ont montré que le nitrile et le polyuréthane (PU) résistaient mieux que le néoprène et le polychlorure de vinyle (PVC), eux-mêmes résistant mieux que le butyle et le latex. Ces résultats concordent globalement avec les coefficients de diffusion qui ont été calculés. Ils sont, de plus, conformes à ceux rapportés dans la littérature et obtenus à partir de données de perméation, processus bien plus délicat à mettre en œuvre que la mesure du gonflement.

Afin d'élargir les conclusions de ces essais de gonflement, des essais complémentaires ont été réalisés sur les quatre polymères les plus résistants et trois fluides de coupe additionnels. L'analyse des données, selon une régression linéaire multiple, a permis de proposer deux modèles qui expliquent jusqu'à 74 % de la variance totale du gonflement. La densité (ou la constante de viscosité-gravité) du fluide ainsi que les paramètres de solubilité δ_a et δ_p des polymères considérés ont montré un impact significatif sur le gonflement. Ces modèles, sous réserve d'une validation à l'aide d'expérimentations complémentaires, pourraient permettre d'évaluer le gonflement des polymères testés avec des huiles spécifiques, sans nécessairement réaliser des mesures de gonflement. Ils pourraient aussi permettre de dresser le portrait du polymère « parfait », en termes de paramètres de solubilité, afin d'atteindre un gonflement « 0 % » selon les propriétés des contaminants étudiés. Cela dit, des paramètres ambiants d'utilisation des fluides de coupe peuvent modifier cette résistance chimique. En effet, des tests de gonflement à différentes températures ont montré que le nitrile, bien qu'il soit plus résistant aux fluides de coupe que le butyle à température ambiante, perd de sa supériorité quand il est exposé à des températures élevées (80 °C ou plus) en continu. Les paramètres ambiants d'utilisation des fluides de coupe peuvent donc modifier la résistance chimique des gants, d'où l'importance de bien les connaître avant de choisir les matériaux de protection appropriés.

Les résultats de la contamination de gants en laboratoire, soit huit couples gants/fluides de coupe issus des entreprises partenaires, exposés à trois durées de contamination (0, 6 et 24 h),

ont montré que l'état du gant avait un effet significatif sur la résistance mécanique des gants, notamment sur la résistance à la perforation. La résistance à la perforation a diminué de 3 à 66 % (dans 18 cas sur 24, dont 5 cas de manière significative). La résistance à la coupure a tendance à diminuer de 1 à 29 % (dans 18 cas sur 24), mais pas de manière importante. La diminution de la résistance à la coupure peut être attribuée à un phénomène de lubrification de la surface de l'échantillon qui occasionne une diminution de la force de friction créée entre la lame et le matériau, cette force de friction ayant un apport important pour la résistance à la coupure. La diminution de la résistance à la perforation peut être liée à l'action plastifiante des fluides de coupe qui pourraient pénétrer à travers la membrane polymère du gant. De plus, il semble que l'effet du temps d'exposition aux fluides de coupe (0 et 24 h) sur la résistance mécanique des gants soit négligeable, car dans certains cas, la variation de la résistance est immédiate et semble indépendante du temps d'exposition. Ces résultats sont compréhensibles dans la mesure où les gants initialement utilisés par les entreprises partenaires de l'étude sont composés principalement des polymères nitrile ou PU, qui ont démontré les meilleures résistances aux fluides de coupe lors des essais de gonflement en laboratoire. L'impact de la contamination sur chaque composant des gants pris séparément (le polymère d'enduction et le tricot) n'a pas pu être analysé puisque ces composants sont amalgamés pour former l'épaisseur des gants.

Les résultats des traitements de nettoyage des gants neufs et contaminés ont mis en évidence des changements de morphologie et de propriétés mécaniques malgré le caractère supposément lavable de ces gants. Une décoloration des gants, une légère augmentation de la résistance à la perforation et une perte de la résistance à la coupure ont été observées dans certains cas. Par ailleurs, la décontamination avec les détergents étudiés ne semble pas être efficace pour les gants lourdement contaminés.

Pour le programme d'usure des gants en milieu de travail réalisé à la suite des expérimentations en laboratoire, sept modèles de gants de protection ont été sélectionnés en collaboration avec les entreprises partenaires. Ces modèles de gants ont été choisis essentiellement parce qu'ils étaient enduits d'un des deux polymères ayant démontré une meilleure résistance aux huiles, soit le nitrile et le PU ; que leurs propriétés, à neuf, étaient équivalentes ou supérieures à celles des gants déjà en cours d'utilisation ; et qu'ils avaient le potentiel d'offrir un confort satisfaisant et de permettre aux travailleurs d'être fonctionnels (dextérité, adhérence, etc.) dans l'accomplissement de leurs tâches aux différents postes de travail.

Le programme d'usure des gants en milieu de travail a montré que l'utilisation normale des gants dans le cadre d'une activité de travail en présence de contaminants a un effet complexe et certainement différent sur leur résistance mécanique comparativement à une exposition réalisée en laboratoire. Dans ces milieux de travail, les gants sont exposés non seulement à des fluides de coupe, mais également à d'autres facteurs pouvant contribuer à la modification de leur résistance à la coupure et à la perforation, tels que les frottements sur diverses surfaces (abrasion), la mise en tension (élongation), la transpiration et la présence d'autres produits chimiques.

Les résultats de caractérisation des gants neufs et usagés ont mis en évidence une perte significative de résistance à la perforation (de 20 à 49 %), à l'exception des modèles Ansell

Powerflex 80-813 et PIP G-Tek 19-D655. La perte de résistance observée a été démontrée à la suite d'une utilisation d'une durée d'au plus quatre jours (durée maximale fixée par l'équipe de recherche pour des raisons logistiques et atteinte dans 51 % des cas par les travailleurs), et malgré les nombreuses sources de variabilité (gants hétérogènes, usure variable en milieu de travail, etc.). Des changements de morphologie des matériaux des gants ont également été observés, de même que la présence de trous, de traces d'érosion et de déchirures plus ou moins profondes. Ces signes d'usure peuvent être attribués à la dégradation chimique du matériau et/ou à l'usure mécanique causée par l'activité de travail. L'effet de l'usure sur la résistance à la coupure a pu être démontré seulement pour l'entreprise A secteur *Screws*. De manière générale, les données issues des tests de coupure ont présenté des variabilités importantes rendant difficile la détection d'effets, que ce soit pour les gants contaminés en laboratoire, nettoyés ou usés en milieu de travail. Pour utiliser cette propriété dans des études ultérieures, une mise au point de la méthode de coupure et un meilleur contrôle des différentes sources de variabilité devraient être considérés.

Les résultats des questionnaires relatifs à la satisfaction et à l'acceptation des gants testés ont montré qu'il n'existe pas de gants universels qui seraient adéquats pour différents environnements et activités de travail. Dans certaines situations, les gants ont été largement acceptés ou, au contraire, largement refusés, alors que dans d'autres, les résultats ont été très partagés parmi les travailleurs. L'étude a permis de déterminer deux types de gants pouvant remplacer les gants usuels fournis par l'entreprise A pour le secteur *Screws*, soit les modèles ATG MaxiChem Cut 56-633 pour les tâches d'opérateur et ATG MaxiDry 56-426 pour les tâches d'ajusteur. Aucun autre modèle de gant ne semble avoir fait consensus parmi les travailleurs de l'entreprise A secteur Lignes et ceux de l'entreprise B. Cela souligne l'importance de l'interaction humain-tâches de travail dans le choix des équipements de protection individuelle en général, et des gants en particulier.

Les résultats de cette étude devraient favoriser une remise en question à la fois des pratiques en matière de santé et de sécurité du travail des entreprises dans la gestion des « temps de service » des gants, mais aussi celles des manufacturiers au regard de leurs recommandations. Une des limites des méthodes d'essais normalisées actuelles est que celles-ci permettent d'évaluer la résistance des gants de protection dans leur état neuf seulement. Une équipe de recherche polonaise s'intéresse également à la question et a publié récemment une méthode permettant de faire subir à des gants une contamination par des huiles et une usure mécanique, en simulant ces conditions en laboratoire (Irzmańska et Stefko, 2015). Ce type de recherche, incluant les travaux présentés dans ce rapport, ouvre la voie à une meilleure prise en compte des conditions réelles d'utilisation dans l'évaluation de la performance des gants de protection.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTM D445-12. *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM D471-12. *Standard Test Method for Rubber Property-Effect of Liquids*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM D611-07. *Standard Test Methods for Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon Solvents*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- ASTM D1218-12. *Standard Test Method for Refractive Index and Refractive Dispersion of Hydrocarbon Liquids*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM D2140-08. *Standard Practice for Calculating Carbon-Type Composition of Insulating Oils of Petroleum Origin*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- ASTM D2501-11. *Standard Test Method for Calculation of Viscosity-Gravity Constant (VGC) of Petroleum Oils*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- ASTM D4052-11. *Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- ASTM F739-12e1. *Standard Test Method for Permeation of Liquids and Gases through Protective Clothing Materials under Conditions of Continuous Contact*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- ASTM F1342-05. *Standard Test Method for Protective Clothing Material Resistance to Puncture*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- ASTM F1790-05. *Standard Test Method for Measuring Cut Resistance of Materials Used in Protective Clothing*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- ASTM F1790M-14. *Standard Test Method for Measuring Cut Resistance of Materials Used in Protective Clothing with CPP Test Equipment*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM F2992M-15. *Standard Test Method for Measuring Cut Resistance of Materials Used in Protective Clothing with Tomodynamometer (TDM-100) Test Equipment*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- Bernardo, G. et Vesely, D. « Equilibrium swelling of polystyrene by alkanes and carboxylic acids: a simple quantitative correlation model ». *J.Appl. Polymer Sci.*, vol. 116, 2010, p. 1348-1356.

- Bertram, H. H. et Brandt, D. « Influence of lubricating oil additives on swell-resistant elastomers ». *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 45(5), 1972, p. 1224-1240.
- Bielicka-Daszkiwicz, K., Voelkel, A., Pietrzynska, M. et Héberger, K. « Role of Hansen solubility parameters in solid phase extraction ». *J. Chromatography A*, vol. 12(17), 2010, p. 5564-5570.
- Budrugaec, P. « Thermooxidative degradation of some nitrile-butadiene rubbers » *Polymer degradation and stability*, 38(2), 1992, p.165-172.
- Brydson J.A. *Plastics Materials*, 7th ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 1999, 921 pages.
- Crep, M.N. « Dermatoses professionnelles aux fluides de coupe ». *Documents pour le Médecin du Travail*, vol. 83, 2000, p. 295-303.
- CSST – Commission de la santé et de la sécurité du travail, *Éléments du programme de surveillance médico-environnementale pour les travailleurs exposés aux brouillards et fluides de coupe ou de refroidissement*. Rapport réalisé par D.S.C. Sacré-Coeur, octobre 1984.
- CSST – Commission de la santé et de la sécurité du travail, *Dépôt de données central et régional (DDCR)*, Données de 2003 à 2005 mises à jour au 1^{er} juillet de l'année x+3, Traitement des données par l'IRSST, 23 octobre 2008.
- CSST – Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. *La CSST en bref 2012*. Rapport statistique. Montréal, Canada, 2012, 25 pages. Disponible en ligne: http://www.csst.qc.ca/publications/200/Documents/DC200_1047_6web.pdf.
- CSST – Commission de la santé et de la sécurité du travail, La CSST lance sa nouvelle campagne publicitaire avec Claude Legault. 2014. Disponible en ligne: <https://www.youtube.com/watch?v=uyGITYWf1U0>
- David C. *Contamination des fluides de coupe aqueux et prévention des risques biologiques*, INRS- Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires ND 2290-211-08, 2008, 13 pages. Disponible en ligne: <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ND%202290>
- De Boer, E.M., van Ketel, W.G. et Bruynzeel, D.P. « Dermatoses in metal-workers. I: Irritant contact dermatitis ». *Contact Dermatitis*, 20(3), 1989, p. 212-218.
- Dolez, P., Vu-Khanh, T., Gauvin, C. et Lara, J. *Effet des contaminants sur la résistance mécanique des gants de protection – Analyse préliminaire*. Études et recherches, Rapport IRSST R-683, Montréal, 2011, 47 pages. Disponible en ligne : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-683.pdf>
- Dunn, J.R. « Performance limits of elastomers ». *Kautschuk und Gummi Kunststoffe*, vol. 38(7), 1985, p. 611-613.

- EN 16523-1:2015. *Détermination de la résistance des matériaux à la perméation par des produits chimiques – Partie 1 : Perméation par un produit chimique liquide dans des conditions de contact continu*. Comité européen de normalisation, 2015.
- Forsberg, K., Olsson, K.G. et Carlmark, B. *Testing of candidate glove materials against metal cutting fluids. Performance of protective clothing ASTM STP 900*. Philadelphia, 1986, p. 59-66.
- Fox, W. *Statistiques sociales*. Presses de l'Université Laval, Québec, Canada, 1999.
- Gunnar, S., Linda, S. et Nynas N. A.B. « Rubber interactions with grease and base oil ». *NLGI Spokesman*, vol. 69, n°1, 2005.
- Hansen, C.M. et Hansen, K.M. *Solubility parameter prediction of the barrier properties of chemical protective clothing (Performance of protective clothing ASTM STP 989-1988)*. S.Z. Mansdorf & A. Nielsen (eds), 1988, p. 197-208.
- Hildebrand, J. H. et Scott, R. L. *The solubility of nonelectrolytes*, 3rd edition, Reinhold: New York, USA, 1950, 488 pages.
- Hansen, C.M. *Hansen solubility parameters: a user's handbook*, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, USA, 2007, 511 pages.
- Honary, L.A.T. et Richter, E. *Biobased lubricants and greases: Technology and products*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, UK, 2011, 238 pages.
- ISO 13997:1999. *Protective clothing - Mechanical properties - Determination of resistance to cutting by sharp objects*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1999.
- ISO 6529:2013. *Vêtements de protection - Protection contre les produits chimiques -- Détermination de la résistance des matériaux utilisés pour la confection des vêtements de protection à la perméation par des liquides et des gaz*. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2013.
- Irzmańska, E. et Dynska-Kukulska, K.A. « Permeation of mineral oils through protective glove materials in view of literature data and authors' own studies ». *Rev Anal Chem* 31, 2012, p.113–122.
- Irzmańska, E. et Stefko, A. « Simulation method for assessing the end of service life of gloves used by workers exposed to mineral oils and mechanical factors ». *Int. J. Ind. Erg.* vol. 47, 2015, p. 61-71.
- Kurtz, S.S., King, R.W., Stout, W.J., Partikian, D.G. et Skrabek, E.A. « Relationship between carbon-type composition, viscosity-gravity constant and refractivity intercept of viscous fractions of petroleum ». *Anal. Chem.* Vol. 28(12), 1956, p. 1928-1936.
- Lamarche, D. *et al.* « Statistiques annuelles 2010 », Rapport statistique, 2010, CSST.

- Lara, J. *Développement d'une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection*. IRSST- Études et recherches, Rapport R-059, 1992, 40 pages. Disponible en ligne: <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-059.pdf>.
- Lara, J., Turcot D., Daigle R. et Boutin J.. *La résistance des gants à la coupure - Développement d'une méthode d'essai*. IRSST- Études et recherches, Rapport R-103, 1995, 28 pages. Disponible en ligne: <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-103.pdf>
- Lara, J., Drolet, D., Hansen, C.M., Perron, G., Zhu, J., Zimmermann, F. et Chollot, A. *ProtecPo - Logiciel pour la pré-sélection des matériaux de protection contre les substances chimiques*, 2011. Disponible en ligne: <https://protecpo.inrs.fr/ProtecPo/jsp/accueil.jsp?institut=IRSST>
- Lipsky, J. « Hand Protection 101: On the production line, time equals money. Selecting the proper protective glove can reduce the amount of time lost on the line from hand-related injuries ». *The National Provisioner*, April 1, 2004. Disponible en ligne : <http://www.provisioneronline.com/articles/94293-hand-protection-101-1>
- Magryta, J., Debek, C. et Debek, D. « Mechanical properties of swelled vulcanizates of polar diene elastomers ». *J. Appl. Polymer Sci.*, vol. 99(5), 2006, p. 2010-2015.
- Makitra, R.G., Yevchuk, I.Y., Musiy, R.Y., Prystansky, R.E. et Zaikov, G.E. « Generalization of the effects of solvent-polymer interactions with linear multiparameter equations ». *J. Appl. Polymer Sci.*, vol. 106, 2007, p. 3417-3422.
- Makitra, R., Midyana, H., Prystansky, R. Y., Vasyutin, Y. et Bazylyak, L. « Computational study of the process of polymer swelling in organic solvents ». *Journal of Physical Organic Chemistry*, vol 18, 2005, p. 825-832.
- McKeen, L.W. *Film Properties of Plastics and Elastomers*. 3rd edition. PDL Handbook Series, 2012, 393 pages.
- Michihisa, T., Akihiro, T. et Rikizou M. «Effect of several kinds of oils on the oil resistance behavior of polystyrene thermoplastic vulcanizate». *Journal of Reinforced Plastic and Composites*, vol. 18, 1999, p. 518-528.
- Mirabelli, M.C., Zock, J.-P., Bircher, A.J., Jarvis, D., Keidel, D., Kromhout, H., Norbäck, D., Olivieri, M., Plana, E., Radon, K., Schindler, C., Schmid-Grendelmeier, P., Torén, K., Villani, S., et Kogevinas, M. « Metalworking exposures and persistent skin symptoms in the ECRHS II and SAPALDIA 2 cohorts ». *Contact Dermatitis*, vol. 60(5), 2009, p. 256-263.
- Myntti, M. F. «Comparing fuel and oil resistance properties». *Rubber World*, vol. 228(3), 2003, p. 38-45.

- Nguyen, C.T., Vu-Khanh, T. et Lara, J. « A study on the puncture resistance of rubber materials used in protective clothing ». *J. ASTM Int.*, vol. 2(4), 2007, p. 245-258.
- Nguyen, C.T., Vu-Khanh, T., Dolez, P. et Lara, J. « Puncture of elastomer membranes by medical needles. Part I: Mechanisms ». *Int. J. Fracture*, vol. 155, 2009, p. 75-81.
- NIOSH. *Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to metalworking fluids*. Department of Health and Human Services, NIOSH publication no. 98-102, Cincinnati, Ohio, 1998, 223 pages. Disponible en ligne : <http://www.cdc.gov/niosh/docs/98-102/pdfs/98-102.pdf>
- Nynas. *Base oil handbook*. 1997, 48 pages. Disponible en ligne : http://www.engnetglobal.com/documents/pdfcatalog/NYN001_200412073535_Base%20oil%20handbookENG.pdf
- Ogorodnikova, G.F. et Sinitsyn, V.V. « Mechanism of rubber swelling in oils and greases ». Dans: *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* (English translation of Khimiya i Tekhnologiya Topliv i Masel), vol. 18(6), 1982, p. 306-308.
- Perron G., Desnoyers, J.E. et Lara J. *Résistance des vêtements de protection aux mélanges de solvants industriels - Développement d'un outil de sélection*. IRSST - Études et recherches, Rapport R-305, 2002, 130 pages. Disponible en ligne : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-305.pdf>
- Plastguide*, SCS Dukadan AS, Randers, Denmark, 1990.
- PN-EN 374-3:2005. *Gloves protecting against chemical substances and micro-organisms – Part 3: Determination of resistance to permeation by chemicals*. Polish Committee for Standardisation, 2005, p. 1-12.
- Powers P.O. et Billmeyer B.R. « Swelling of Synthetic Rubbers in Mineral Oils. Effect of Temperature and Aniline Point ». *Rubber Chemistry and Technology*, 18(2), 1945, p. 452-459.
- Sarser, G.I. et Roter, E.A. « Influence of sorption of low-molecular liquids on the mechanical and electrophysical characteristics of elastomers ». *Soviet Materials Science* (English translation of Fiziko-Khimicheskaya Mekhanika Materialov), vol. 22(2), 1986, p. 201-204.
- Seehra, M.S., Yalamanchi, M. et Singh, V. « Structural characteristics and swelling mechanism of two commercial nitrile-butadiene elastomers in various fluids ». *Polymer Testing*, vol. 31(212), 2012, p. 564-571.
- Sorock, G.S., Lombardi, D.A., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F. et Mittleman, M.A. « A case-crossover study of transient risk factors for occupational acute hand injury ». *Occup. Environ. Med.*, vol. 61(4), 2004a, p. 305-311.

- Sorock, G. S., Lombardi, D.A., Peng, D.K., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F. et Mittleman, M.A. « Glove use and the relative risk of acute hand injury: A case-crossover study ». *J. Occup. Environ. Hyg.*, vol. 1(3), 2004b, p.182-190.
- Sprince, N.L., Palmer, J.A., Pependorf, W., Thorne, P.S., Selim M.I., Zwerling C. et Miller E.R. « Dermatitis among automobile production machine operators exposed to metal-working fluids ». *Am. J. Ind. Med.*, vol. 30(4), 1996, p. 421-429.
- Tasaka, M., Tamura, A. et Mori, R. « Effect of several kinds of oils on the oil resistance behavior of polystyrene thermoplastic vulcanizate ». *Journal of reinforced plastic and composites*, vol. 18, 1999, p. 518-528.
- Technologies propres et sobres. *Fluides de coupe & environnement*. N° 2 - Janvier 1996, 9 pages.
- Tellier, C., Lara, J. et Daigle, R. *La sélection et le développement de gants de protection contre les lacérations dans le secteur de la fabrication des produits en métal*. IRSST, Études et recherches – Rapport R-234, 1999, 45 pages. Disponible en ligne : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-234.pdf>
- Tonner, J. *Les fluides de coupe et la santé*. Rapport Cramif, 2^e éd., 1999, p. 1-5.
- Vakili-Nezhaad, G.R. et Modarress, H. « A new characterization factor for hydrocarbons and petroleum fluids fractions ». *Oil & Gas Science and Technology*, 57(2), 2002, p. 149-154.
- Vo-Dinh, T. et White, D.A. « Development of luminescence procedures to evaluate permeation of multi-ring polyaromatic compounds through protective materials ». *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 48(4), 1987, p. 400-405.
- Vu-Khanh, T., Vu, T.B.N., Nguyen, C.T. et Lara, J. *Gants de protection : étude sur la résistance des gants aux agresseurs mécaniques multiples*. IRSST, Études et recherches - Rapport R-424, 2005, 86 pages. Disponible en ligne: <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-424.pdf>
- Vu, T.B.N. *Mécanique et mécanisme de la coupure des matériaux de protection*. Thèse de doctorat, département de génie mécanique, Université de Sherbrooke, 2004, 138 pages. Disponible en ligne : <http://savoirs.usherbrooke.ca/handle/11143/1766>
- Xu, W. et Que Hee, S.S. « Permeation of a straight oil metalworking fluid through a disposable and a chemical protective nitrile glove ». *J. Hazardous Materials*, vol. 137(2), 2006, p. 709-715.
- Xu, W. et Que Hee, S.S. « Permeation of a straight oil metalworking fluid through disposable nitrile, chloroprene, vinyl, and latex gloves ». *J.Hazardous Materials*, vol. 147(3), 2007, p. 923-929.
- Xu, W. et Que Hee, S.S. « Swelling of four glove materials challenged by six metalworking fluids ». *Arch. Environ.Contam.Toxicol.*, vol. 54(1), 2008, p. 1-8.

Xu, W. et Que Hee, S.S. « Permeation of a metalworking fluid through a latex glove under field use conditions ». *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 84(1), 2010, p. 5-7.

ANNEXE A : TABLEAUX DE RÉSULTATS DÉTAILLÉS

Tableau 25 Taux de gonflement des polymères aux fluides de coupe calculé selon le modèle 1, $G(\%) = -172,39 + 4,31\delta_d - 1,18\delta_p + 117,14d$ et résidus du modèle 1

	Huile	Prévision pour G (%)	Résidu (%)
Nitrile	IRM 901	-1,70	-1,04
	IRM 902	4,04	-5,43
	IRM 903	2,75	-1,82
	IRM 905	-2,05	-0,79
	Lubricut	-3,69	1,67
	Superedge	4,74	-2,37
	Milform	18,21	7,47
	A-9	1,46	-1,90
	Nu-Clear	-1,82	0,32
	Blasomill 32	-0,41	0,11
	Néoprène	IRM 901	2,73
IRM 902		8,47	-7,93
IRM 903		7,18	7,54
IRM 905		2,38	-5,91
Lubricut		0,74	-1,94
Superedge		9,17	10,50
Milform		22,65	12,15
A-9		5,89	1,92
Nu-Clear		2,61	-2,23
Blasomill 32		4,02	-0,17
PVC		IRM 901	-8,91
	IRM 902	-3,17	0,31
	IRM 903	-4,46	0,62
	IRM 905	-9,26	4,28
	Lubricut	-10,90	4,91
	Superedge	-2,47	-0,54
	Milform	11,01	-8,29
	A-9	-5,75	-2,08
	Nu-Clear	-9,03	0,43
	Blasomill 32	-7,62	-0,41
	Polyuréthane	IRM 901	-1,83
IRM 902		3,91	-3,96
IRM 903		2,62	-2,50
IRM 905		-2,18	1,88
Lubricut		-3,82	3,77
Superedge		4,62	-2,07
Milform		18,09	-7,67
A-9		1,34	-1,81
Nu-Clear		-1,94	2,08
Blasomill 32		-0,54	1,18

Tableau 26 Taux de gonflement des polymères aux fluides de coupe calculé selon le modèle 2, $G(\%) = -144,19 + 4,31\delta_d - 1,17\delta_p + 91,25VGC$, et résidus du modèle 2

	Huile	Prévision pour G (%)	Résidu (%)
Nitrile	IRM 901	-4,80	2,06
	IRM 902	1,38	-2,77
	IRM 903	3,33	-2,40
	IRM 905	-3,25	0,41
	Lubricut	-3,14	1,12
	Superedge	4,18	-1,81
	Milform	17,50	8,18
	A-9	1,03	-1,47
	Nu-Clear	-2,48	0,98
	Blasomill 32	-0,75	0,45
Néoprène	IRM 901	1,28	-5,57
	IRM 902	7,46	-6,92
	IRM 903	9,40	5,32
	IRM 905	2,83	-6,36
	Lubricut	2,94	-4,14
	Superedge	10,25	9,42
	Milform	23,58	11,22
	A-9	7,10	0,71
	Nu-Clear	3,60	-3,22
	Blasomill 32	5,33	-1,48
PVC	IRM 901	-10,60	6,84
	IRM 902	-4,42	1,56
	IRM 903	-2,47	-1,37
	IRM 905	-9,05	4,07
	Lubricut	-8,94	2,95
	Superedge	-1,63	-1,38
	Milform	11,70	-8,98
	A-9	-4,78	-3,05
	Nu-Clear	-8,28	-0,32
	Blasomill 32	-6,55	-1,48
Polyuréthane	IRM 901	-4,56	4,35
	IRM 902	1,61	-1,66
	IRM 903	3,56	-3,44
	IRM 905	-3,02	2,72
	Lubricut	-2,90	2,85
	Superedge	4,41	-1,86
	Milform	17,74	-7,32
	A-9	1,26	-1,73
	Nu-Clear	-2,24	2,38
	Blasomill 32	-0,51	1,15

Tableau 27 Effet de la contamination en laboratoire sur la résistance mécanique des gants

Gant	Contaminant	Durée d'exposition (h)	Coupure			Perforation		
			$F_{20} \pm s$ (gf)	R^2	Variation relative (%)	$F \pm s$ (N)	Variation relative (%)	S
Ansell Hyflex 11-900	Lubricut 95	neuf	336 ± 42	0,80		10,7 ± 1,5		
		0	318 ± 38	0,72	-5,4	10,4 ± 0,4	-2,9	
		6	293 ± 27	0,90	-12,8	13,8 ± 1,9	29,9	
		24	372 ± 40	0,77	10,7	8,2 ± 2,9	-23,2	
	Superedge	0	358 ± 43	0,73	6,5	12,4 ± 2,9	16,1	
		6	296 ± 24	0,89	-11,9	6,8 ± 0,6	-36,7	*
Ansell Hyflex 11-624	Lubricut 95	neuf	445 ± 74	0,60		7,3 ± 3,9		
		0	428 ± 86	0,58	-3,8	3,6 ± 0,6	-51,0	
		6	403 ± 39	0,73	-9,4	4,0 ± 1,2	-43,5	
		24	318 ± 35	0,90	-28,5	2,5 ± 0,7	-66,1	*
	Superedge	0	450 ± 72	0,72	1,1	6,8 ± 2,3	-6,8	
		6	474 ± 74	0,72	6,5	3,6 ± 0,9	-50,1	
Ansell Hycron 27-805	Lubricut 95	neuf	621 ± 33	0,85		29,8 ± 5,2		
		0	652 ± 76	0,81	5,0	30,8 ± 3,5	3,5	
		6	575 ± 71	0,71	-7,4	28,7 ± 2,5	-3,7	
		24	587 ± 71	0,79	-5,5	20,8 ± 1,5	-30,1	*
	Superedge	0	659 ± 130	0,61	6,1	25,9 ± 3,0	-12,9	*
		6	593 ± 41	0,90	-4,5	26,6 ± 1,4	-10,6	
Showa-Best Nitri-Pro 7000	Milform	neuf	704 ± 82	0,82		22,1 ± 4,8		
		0	622 ± 19	0,96	-11,6	21,3 ± 1,9	-4,0	
		6	602 ± 118	0,72	-14,5	19,1 ± 2,2	-13,5	
		24	694 ± 142	0,64	-1,4	23,0 ± 2,3	3,8	
Superior Touch S13SXPUQ	Milform	neuf	480 ± 37	0,82		3,2 ± 0,4		
		0	411 ± 23	0,80	-14,4	4,1 ± 0,9	26,8	
		6	378 ± 32	0,79	-21,3	4,7 ± 0,8	43,4	
		24	351 ± 36	0,80	-26,9	2,4 ± 0,1	-24,8	

F_{20} : Force de coupure pour un déplacement de la lame de 20 mm;

s : Écart-type;

R^2 : Coefficient de détermination de la courbe de coupure;

F : Force maximale moyenne des tests de perforation des gants;

S : Significativité par rapport au gant neuf : $p \leq 0,05$ *;

Variation relative (%) = $(F_{\text{contaminé}} - F_{\text{neuf}} / F_{\text{neuf}}) * 100$.

Tableau 28 Effet du nettoyage sur la résistance mécanique des gants

Gant	Nombre de lavages consécutifs	Coupure		Perforation		
		$F_{20} \pm s$ (gf)	Variation relative (%)	$F \pm s$ (N)	Variation relative (%)	S
Ansell Hyflex 11-900	neuf	336 ± 42		10,7 ± 1,5		
	5	286 ± 39	-14,9	19,2 ± 2,8	79,5	*
	10	288 ± 46	-14,3	21,8 ± 3,2	103,4	*
Ansell Hyflex 11-624	neuf	445 ± 74		7,3 ± 3,9		
	5	410 ± 29	-7,9	10,8 ± 5,9	47,7	
	10	383 ± 52	-13,9	14,4 ± 5,4	97,6	*
Ansell Hycron 27-805	neuf	621 ± 33		29,8 ± 5,2		
	5	590 ± 46	-5,0	27,3 ± 4,7	-8,6	
	10	644 ± 68	3,7	29,8 ± 4,4	0,0	
Showa-Best Nitri-Pro 7000	neuf	704 ± 82		22,1 ± 4,8		
	5	601 ± 56	-14,6	24,7 ± 3,9	11,7	
	10	613 ± 42	-12,9	26,6 ± 2,7	20,0	
Superior Touch S13SXPUQ	neuf	480 ± 37		3,2 ± 0,5		
	5	465 ± 19	-3,1	11,1 ± 3,8	241,8	*
	10	470 ± 26	-2,1	11,9 ± 3,1	267,7	*

F_{20} : Force de coupure pour un déplacement de la lame de 20 mm;

s : Écart-type;

F : Force maximale moyenne des tests de perforation des gants;

S : Significativité par rapport au gant neuf : $p \leq 0,05$ *;

Variation relative (%) = $(F_{lavé} - F_{neuf} / F_{neuf}) * 100$.

Tableau 29 Résistance à la coupure des gants neufs et usagés en milieu de travail

Entreprise et poste	Gants	Coupure - Neuf		Coupure - Usagé		Variation Relative (%)
		$F_{20} \pm s$ (gf)	R^2	$F \pm s$ (N)	R^2	
A-Screws	ATG MaxiChem 56-633	1 056 ± 94	0,46	761 ± 287	0,40	-28,0
	ATG MaxiDry 56-426	177 ± 47	0,83	123 ± 34	0,75	-30,8
	Showa-Best Atlas 377	382 ± 81	0,87	263 ± 88	0,69	-31,1
A-Lignes	Showa-Best Atlas 377	382 ± 81	0,87	298 ± 134	0,49	-22,0
	PIP G-Tek 19-D655	470 ± 121	0,58	485 ± 88	0,69	3,0
	Ansell Powerflex 80-813	1 044 ± 161	0,60	1 077 ± 295	0,43	3,2
B	Ansell Powerflex 80-813	1 044 ± 161	0,60	948 ± 346	0,31	-9,2
	Showa-Best S-TEX 541	1 426 ± 150	0,62	1 347 ± 356	0,27	-5,6
	Superior Emerald S13CXPU	1 902 ± 292	0,50	1 268 ± 566	0,23	-33,3

F_{20} : Force de coupure pour un déplacement de la lame de 20 mm;

s : Écart-type;

R^2 : Coefficient de détermination de la courbe de coupure;

Variation relative (%) = $(F_{20 \text{ usagé}} - F_{20 \text{ neuf}} / F_{20 \text{ neuf}}) * 100$.

Tableau 30 Résistance à la perforation des gants neufs et usagés en milieu de travail

Entreprise et poste	Modèle de gants	Perforation - Neuf F ± s (N)	Perforation - Usagé F ± s (N)	Variance relative (%)	S
A-Screws	ATG MaxiChem 56-633	36,3 ± 8,4	29,0 ± 7,0	-20,3	*
	ATG MaxiDry 56-426	19,1 ± 3,3	14,7 ± 3,0	-23,0	
	ShowaBest Atlas 377	21,2 ± 1,9	16,0 ± 2,8	-24,7	*
A-Lignes	ShowaBest Atlas 377	21,2 ± 1,9	16,6 ± 3,4	-21,5	*
	PIP G-Tek 19-D655	5,5 ± 4,1	5,2 ± 2,2	-4,2	
	Ansell Powerflex 80-813	6,7 ± 1,6	6,4 ± 2,9	-4,6	
B	Ansell Powerflex 80-813	6,7 ± 1,6	6,4 ± 3,6	-4,5	
	ShowaBest S-TEX 541	10,3 ± 5,5	5,3 ± 1,9	-48,9	*
	Superior Emerald S13CXPU	7,9 ± 2,8	5,7 ± 2,8	-28,2	

F : Force maximale moyenne des tests de perforation des gants;

s : Écart-type;

S : Significativité par rapport au gant neuf : $p \leq 0,05$ *;

Variation relative (%) = $(F_{\text{usagé}} - F_{\text{neuf}} / F_{\text{neuf}}) * 100$.

ANNEXE B : EXEMPLE DES QUESTIONNAIRES

Voici un exemple du questionnaire Q1 pour l'entreprise B :

Projet sur les gants avec :   le geste pour l'industrie

Questionnaire #1 – Évaluation de chaque gant

Identification du participant																																	
Q1. Nom du participant : _____	Q2. Êtes-vous gaucher <input type="checkbox"/> ou droitier <input type="checkbox"/>																																
Q3. Veuillez indiquer le département (poste de travail) où vous avez testé les gants.																																	
<input type="checkbox"/> # 11 Longueur	<input type="checkbox"/> # 06 Longueur																																
<input type="checkbox"/> # 03 Chapeaux	<input type="checkbox"/> # 06 Die Marteau																																
	<input type="checkbox"/> Autre : _____																																
Historique d'utilisation du gant																																	
Q4. Veuillez encercler le gant évalué et cocher le numéro de l'essai																																	
	<input type="checkbox"/> ESSAI #1																																
	<input type="checkbox"/> ESSAI #2																																
	<input type="checkbox"/> ESSAI #3																																
Ansell Powerflex 80-813 Showa-Best S-TEX 541 Superior Emerald CX™ S13CXP																																	
Q5. Pour chaque jour d'essai des gants, veuillez indiquer le temps d'utilisation des gants en remplissant le tableau suivant :																																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jour 1</th> <th>Jour 2</th> <th>Jour 3</th> <th>Jour 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Date :</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><i>Temps total de port des gants (en heure)</i></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Temps en contact avec les contaminants</td> <td>Milform 64 100% pur¹</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> </tr> <tr> <td>Milform 64 25% + 75% eau²</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> </tr> <tr> <td>Milform 64 15% + 85% eau³</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> </tr> <tr> <td>Omala 220⁴</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> <td><input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr</td> </tr> </tbody> </table>		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	<i>Date :</i>					<i>Temps total de port des gants (en heure)</i>					Temps en contact avec les contaminants	Milform 64 100% pur ¹	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	Milform 64 25% + 75% eau ²	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	Milform 64 15% + 85% eau ³	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	Omala 220 ⁴	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr
	Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4																													
<i>Date :</i>																																	
<i>Temps total de port des gants (en heure)</i>																																	
Temps en contact avec les contaminants	Milform 64 100% pur ¹	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr																													
	Milform 64 25% + 75% eau ²	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr																													
	Milform 64 15% + 85% eau ³	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr																													
	Omala 220 ⁴	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr	<input type="checkbox"/> min <input type="checkbox"/> hr																													
Notes : Contaminants habituellement utilisés aux départements : Note 1 : #11 et parfois #03 Note 2 : #06 et #08 Note 3 : #03 Note 4 : #11																																	
Q6. Pour quelle(s) raison(s) avez-vous cessé l'utilisation de ces gants?																																	
<input type="checkbox"/> Enduit usé/pelé <input type="checkbox"/> Gants percés, coupés ou déchirés <input type="checkbox"/> Gants trop sales <input type="checkbox"/> Gants imbibés d'huile <input type="checkbox"/> Jour 4 maximum atteint	<input type="checkbox"/> Autre. Veuillez préciser : _____ _____ _____																																

Suite du questionnaire au VERSO →

Appréciation de la protection et de la fonctionnalité du gant évalué			
Q7. Veuillez encrer la performance des gants testés.	Faible	Acceptable	Excellent
a) Durabilité au niveau de la paume	1	2	3
b) Durabilité à la jonction pouce/index	1	2	3
c) Niveau de protection ressenti contre les coupures	1	2	3
d) Niveau de protection ressenti contre les perforations	1	2	3
e) Niveau de protection ressenti contre la chaleur	1	2	3
f) Imperméabilité aux liquides (huile, huile diluée)	1	2	3
g) Prise à sec des pièces/composantes	1	2	3
h) Prise d'objets huileux (huile visqueuse)	1	2	3
i) Prise d'objet mouillés (huile diluée, coolant, eau)	1	2	3
j) Dextérité, facilité à manipuler de petits objets	1	2	3
k) Souplesse, facilité à plier les doigts sans effort	1	2	3
l) Respirabilité, permet d'évacuer la transpiration	1	2	3
m) Ajustement à la main	1	2	3
n) Ajustement au poignet	1	2	3
o) Facilité d'enfilage	1	2	3
p) Confort en général	1	2	3
Q8. Qu'est-ce que vous avez aimé de ce gant? Veuillez élaborer.			
Q9. Qu'est ce que vous n'avez pas aimé de ce gant? Veuillez élaborer.			
Q10. Autres commentaires?			

**Veuillez remettre les gants et ce questionnaire #1 rempli à la personne responsable à l'interne.
Merci de votre participation!**

Voici un exemple du questionnaire Q2 pour l'entreprise B :



Questionnaire #2 – Comparaison des gants testés

Identification du participant			
Q11. Nom du participant : _____			
Q12. Quel gant portez-vous habituellement : _____ Grandeur _____			
Q13. Veuillez classer les gants en ordre de préférence (1 = le meilleur ; 4 : le pire).			
			
<input type="checkbox"/> Ansell Powerflex 80-813	<input type="checkbox"/> Showa-Best S-TEX 541	<input type="checkbox"/> Superior Emerald CX™ S13CXPU	<input type="checkbox"/> Gant habituel
Q14. Veuillez indiquer les avantages et inconvénients de chaque gant, et mentionner si, oui ou non, vous seriez prêt à adopter ce gant pour votre travail			
Gant	Avantages	Inconvénients	Prêt à adopter ce gant dans votre milieu de travail?
			Oui - Non
			- Oui Non
			Oui - Non
Gant habituel			

**Veuillez remettre ce questionnaire #2 rempli à la personne responsable à l'interne.
Merci de votre participation!**

ANNEXE C : INGRÉDIENTS DU DÉTERGENT ET DÉTACHANT

Tableau 31 Composition chimique du détergent utilisé

Nom	Secret commercial	CAS	Masse %
Éthanol, 2-amino-, 2-hydroxy-1, 2, 3-propanetricarboxylate	Non	17863-38-6	5-10
Poly (oxy-1,2-ethanediyl), alpha-sulfo-omega-hydroxy-, C10-16-alkyl ethers, sel de sodium	Non	68585-34-2	5-10
MEA-Dodecylbenzenesulfonate	Non	68910-32-7	1-5
Ceteareth-7	Non	68439-49-6	1-5
Acide Benzenesulfonique, mono-C10-16-alkyl derivs., sel de sodium	Non	68081-81-2	1-5
2,2'-Oxybiséthanol	Non	111-46-6	1-5
Propylène glycole	Non	57-55-6	1-5
Acide Dodecanoïque : sel de sodium (1:1)	Non	629-25-4	1-5
Disodium tetraborate pentahydrate	Non	12179-04-3	0.1-1
Hexyl salicylate	Non	6259-76-3	0.1-1
Glycine, N, N-bis[2-[bis(carboxymethyl)amino] éthyle] : sel sodium (1:5)	Non	140-01-2	0.1-1

Tableau 32 Composition chimique du détachant utilisé

Nom	CAS	Masse (%)	Classification (GHS-US)
Carbonate de sodium	(CAS No) 497-19-8	60 - 100	Eye Irrit. 2A, H319
Percarbonate de sodium	(CAS No) 15630-89-4	30 - 60	Ox. Sol. 2, H272 Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 2, H401
Alcools, C12-15, ethoxylaté	(CAS No) 68131-39-5	1 - 5	Acute Tox. 4 (Oral), H302 Eye Dam. 1, H318 Aquatic Acute 1, H400 Aquatic Chronic 3, H412
Metasilicate de sodium	(CAS No) 6834-92-0	0.1 - 1	Met. Corr. 1, H290 Acute Tox. 4 (Oral), H302 Skin Corr. 1B, H314 Eye Dam. 1, H318 STOT SE 3, H335