

2011

Effet des contaminants sur la résistance mécanique des gants de protection : analyse préliminaire

Patricia Dolez
ÉTS

Toan Vu-Khanh
ÉTS

Chantal Gauvin
IRSST, chantal.gauvin@irsst.qc.ca

Jaime Lara
IRSST

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Dolez, P. I., Vu-Khanh, T., Gauvin, C. et Lara, J. (2011). *Effet des contaminants sur la résistance mécanique des gants de protection : analyse préliminaire* (Rapport n° R-683). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

É

Équipements de protection

Études et recherches

RAPPORT R-683



Effet des contaminants sur la résistance mécanique des gants de protection Analyse préliminaire

*Patricia Dolez
Toan Vu-Khanh
Chantal Gauvin
Jaime Lara*



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.

NOS RECHERCHES

travaillent pour vous !

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.

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

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

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 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 CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2011
ISBN : 978-2-89631-536-9 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2011



Équipements de protection

Études et recherches

■ RAPPORT R-683

Effet des contaminants sur la résistance mécanique des gants de protection Analyse préliminaire

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.

*Patricia Dolez et Toan Vu-Khanh,
École de technologie supérieure*

*Chantal Gauvin,
Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*

*Jaime Lara,
Service de la recherche, IRSST*



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

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

Ce projet a bénéficié de la collaboration active des membres du comité de suivi, par ordre alphabétique, Louis Bousquet de l'IRSST, Diane Coté de l'APSAM, Waguih Geadah de l'ASFETM, Caroline Godin de l'ASP Métal Électrique, Jocelyn Jargot de l'ASP Auto et Nicole Vézina de l'UQAM.

Un support a également été fourni par plusieurs manufacturiers de gants de protection, par ordre alphabétique, Ansell, Best Glove Manufacturing, Permatex Canada et Superior Glove Works, par un Centre de nettoyage industriel (Chatel Nettoyeur Intermunicipal Inc.) ainsi que par des compagnies utilisatrices de gants de protection dans les secteurs de l'usinage du métal, de la mécanique auto et de la préparation de la viande. Merci pour votre soutien dans nos activités de recherche.

Finalement, les auteurs tiennent à souligner la participation de plusieurs personnes aux travaux décrits dans ce rapport, entre autres Katayoun Soulati, Ennouri Triki, Jean-Baptiste Renault et Charles-Henri Pelletier, respectivement associée de recherche, étudiant au doctorat et stagiaires à l'ÉTS, ainsi que Pierre Drouin, technicien à l'IRSST.

SOMMAIRE

Dans de nombreux milieux de travail, comme par exemple l'usinage du métal, la mécanique automobile et la transformation alimentaire, la présence de risques mécaniques se produit souvent de manière simultanée avec celle de divers contaminants industriels, en particulier des huiles et des graisses. Ces composés peuvent éventuellement affecter la résistance des gants aux agresseurs mécaniques. Par ailleurs, certains modèles de gants peuvent subir des traitements de nettoyage afin de prolonger leur durée d'utilisation. Or, ceux-ci peuvent éventuellement provoquer une modification de leurs propriétés.

Cette étude avait pour objectif d'analyser de manière exploratoire trois aspects relatifs à l'effet des conditions réelles d'utilisation des gants de protection sur leurs propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques (coupure, perforation et déchirure). Il s'agissait d'une part de l'exposition à court et moyen terme (1h et 8h) à des huiles et des graisses en laboratoire, d'autre part de l'application d'un traitement de nettoyage industriel avec et sans contamination préalable des gants, et finalement d'un usage normal en milieu de travail à long terme, c'est-à-dire correspondant à la durée de service jusqu'au retrait, dans les secteurs d'activités considérés.

Les résultats obtenus ont montré, pour certains couples gant/traitement appliqué, l'existence de modifications parfois très importantes de la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure. Par exemple, des diminutions de la résistance à la coupure et à la perforation allant respectivement jusqu'à 38% et 59% ont été mesurées suite à certains traitements de contamination en laboratoire. Par ailleurs, en ce qui concerne les gants usagés, des diminutions de résistance aux trois types d'agresseurs mécaniques allant jusqu'à 34% ont été observées pour des gants en nitrile supporté. Finalement, une augmentation de la résistance à la perforation a été mesurée après un seul traitement de nettoyage sur des gants en cuir synthétique due au durcissement du matériau.

Ces résultats indiquent l'importance de prendre en considération la présence de contaminants industriels lors de la sélection de gants de protection contre les risques mécaniques. Ils démontrent également la nécessité de poursuivre les travaux entamés afin de permettre une meilleure connaissance des phénomènes en jeu dans les processus de contamination à court et moyen terme, de nettoyage et d'usure naturelle, pour pouvoir identifier les solutions optimales permettant de minimiser ces problématiques.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE	III
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Importance du sujet.....	1
1.2 Origine de la problématique en santé et en sécurité du travail	1
1.3 Importance scientifique et technique de l’objet d’étude	2
1.4 But du projet et objectifs spécifiques	3
2. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES	5
2.1 Gants et contaminants	5
2.2 Traitement de contamination en laboratoire	8
2.3 Traitement de nettoyage.....	9
2.4 Usure naturelle	9
2.5 Mesure de la résistance à la coupure.....	10
2.6 Mesure de la résistance à la perforation.....	12
2.7 Mesure de la résistance à la déchirure.....	12
3. RÉSULTATS.....	15
3.1 Portrait de la situation.....	15
3.2 Résultats des traitements en laboratoire.....	15
3.2.1 Gants en enduit de nitrile sur tricot de coton	16
3.2.2 Gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon.....	16
3.2.3 Gants en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar®	17
3.2.4 Gants en enduit de polyuréthane sur tricot de Dyneema®	17
3.2.5 Gants en cuir synthétique.....	18
3.3 Résultats de l’usure naturelle	19
3.3.1 Gants en nitrile non-supporté.....	20

3.3.2	Gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon.....	20
3.3.3	Gants en cuir synthétique.....	21
4.	DISCUSSION.....	23
4.1	Importance de la problématique	23
4.2	Comparaison entre l'usure naturelle et les traitements de laboratoire.....	25
4.3	Hypothèses préliminaires sur les mécanismes en jeu	25
4.4	Réflexions sur la procédure expérimentale	26
5.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	29
	BIBLIOGRAPHIE.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Liste des gants et des contaminants sélectionnés pour l'étude	6
Tableau 2 - Composition des contaminants utilisés pour les traitements en laboratoire	7
Tableau 3 - Conditions du traitement de nettoyage	9
Tableau 4 - Effet de la contamination par de l'huile hydraulique et de l'huile de coupe sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de nitrile sur tricot de coton (Écart-type entre parenthèse)	16
Tableau 5 - Effet de la contamination par de l'huile de coupe sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon (Écart-type entre parenthèse)	17
Tableau 6 - Effet de la contamination par de l'huile à moteur et de la graisse pour roulements sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar® (Écart-type entre parenthèse)	17
Tableau 7 - Effet de la contamination par un lubrifiant pour usinage sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de polyuréthane sur tricot de Dyneema® (Écart-type entre parenthèse)	18
Tableau 8 - Effet de la contamination par de l'huile à moteur et de la graisse pour roulements sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en cuir synthétique (Écart-type entre parenthèse)	18
Tableau 9 - Effet du nettoyage sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en cuir synthétique pour des gants neufs et ayant subi une période de contamination de 8 heures dans de l'huile et de la graisse pour roulements (Écart-type entre parenthèse)	18
Tableau 10 - Résistance aux agresseurs mécaniques des gants en nitrile non-supportés neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)	20
Tableau 11 - Résistance aux agresseurs mécaniques des gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)	20
Tableau 12 - Performances contre les agresseurs mécaniques des gants en cuir synthétique neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)	21
Tableau 13 - Synthèse de l'effet des traitements de contamination en laboratoire sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques de la liste de gants étudiés	23
Tableau 14 - Synthèse de l'effet du traitement de nettoyage et de l'usure naturelle sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques de la liste de gants étudiés	24

LISTE DES FIGURES

Figure 1 - Configuration des traitements de contamination pour les contaminants liquides (a) et visqueux ou en mousse (b)	8
Figure 2 - Principe du test de résistance à la coupure par les objets tranchants (a) et photo du TDM-100 (b).....	10
Figure 3 - Dispositif d'immobilisation utilisé pour maintenir en place les échantillons lors de la mesure de la résistance à la coupure	11
Figure 4 - Photo du montage de perforation	12
Figure 5 - Configuration de l'échantillon de déchirure de type T (a) et positionnement dans les mâchoires de la machine de traction (b).....	13
Figure 6 - Photos au microscope électronique à balayage de la surface externe d'échantillons pris dans la paume de gants XL (a) et XXL (b)	19
Figure 7 - Photos de gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon a) neuf et b) usagé.....	21
Figure 8 - Photos de gants usagés en cuir synthétique.....	22

1. INTRODUCTION

1.1 Importance du sujet

Les blessures aux mains comptent pour environ 19 % de l'ensemble des lésions indemnisées par la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec (CSST) avec des déboursés d'un peu plus de 264 millions de dollars pour les années 2003–2005 [1]. Dans certains secteurs industriels tels que l'usinage du métal et la préparation alimentaire, ce nombre peut même dépasser 30 % des lésions indemnisées [1,2]. Toujours selon les données de la CSST, plus de la moitié de ces blessures aux mains sont des lacérations de type coupure/piqûre [1].

1.2 Origine de la problématique en santé et en sécurité du travail

Le port de gants de protection a démontré son efficacité pour réduire la fréquence et la gravité des lésions aux mains, en particulier les lacérations et les perforations pour lesquelles la réduction du risque peut atteindre 60 à 70% [3,4]. À cet effet, des méthodes 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 normes ASTM F 1790-05 [5] et ISO 13997 [6] relatives à la mesure de la résistance à la coupure des matériaux des vêtements de protection, ainsi que la norme ASTM F 1342-05 [7] concernant la mesure de la résistance à la perforation des matériaux des vêtements de protection, ont bénéficié des travaux réalisés à l'IRSST [8,9]. Cependant, même en cas de port de gants de protection, des lésions aux mains se produisent. Ainsi, une étude réalisée par le 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 [10]. Cependant, ces gants étaient généralement inadéquats, endommagés ou inadaptés pour le type de risques en présence.

En particulier, la présence de risques mécaniques en milieu de travail peut être accompagnée de celle de divers contaminants industriels, par exemple des huiles et des graisses. Cette situation concerne, entre autres, les secteurs de l'usinage du métal [11], des garages automobiles [12] et de la transformation alimentaire [13]. Ainsi, l'Enquête nationale d'exposition professionnelle menée en 1981-1982 par le National Institute for Occupational Safety and Health aux États-Unis a évalué que 1,2 millions de travailleurs étaient potentiellement exposés aux fluides utilisés pour l'usinage du métal [14]. Or, ces huiles et ces graisses peuvent éventuellement causer une réduction des propriétés de résistance des gants aux agresseurs mécaniques, tel que cela a été mis en évidence dans le cas de la résistance à la coupure de gants en néoprène par application d'huile de coupe [15,16]. 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. Cette question n'est pas prise en considération dans l'évaluation des performances des gants par les méthodes normalisées, qui est réalisée sur des échantillons neufs.

Une problématique similaire existe également au niveau du nettoyage. En effet, de manière générale et d'autant plus avec l'arrivée de nouveaux matériaux plus performants et plus coûteux, les gants de protection peuvent être nettoyés et réutilisés plusieurs fois de suite avant d'être

remplacés [11,12]. Or, les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques peuvent diminuer suite aux traitements de nettoyage [11].

1.3 Importance scientifique et technique de l'objet d'étude

Des progrès importants ont été réalisés au cours des dernières années, en particulier sous le leadership de l'IRSST, pour la mise en place et l'amélioration des méthodes normalisées pour la mesure de la résistance des vêtements de protection aux agresseurs mécaniques, entre autres au niveau de la coupure (normes ASTM F 1790-05 [5] et ISO 13997 [6]) et de la perforation (norme ASTM F 1342-05 [7]). Les recherches ont également permis d'améliorer la compréhension des phénomènes en jeu. En particulier, l'importance du phénomène de friction dans le cas de la coupure par glissement a été mise en évidence avec les caoutchoucs [15,16]. 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 reliée à la friction au niveau 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 [15,17].

Cependant, ces méthodes d'essai normalisées ne prennent pas en compte la présence simultanée des agresseurs mécaniques et des contaminants industriels. En effet, les tests de résistance aux agresseurs mécaniques sont 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 relativement à l'interaction des contaminants industriels de type huile et graisse avec des gants de protection faits de caoutchouc naturel, de néoprène, de nitrile et de vinyle [14,18-20]. Néanmoins, elles se sont uniquement intéressées à la perméation et au gonflement associés aux contaminants et 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 également extraites de travaux réalisés sur différents types de polymères [15,16,21-29].

Parmi les propriétés examinées par les chercheurs, les caractéristiques relatives à la protection contre les risques chimiques, c'est-à-dire la perméation et le gonflement, sont les plus fréquentes. En ce qui concerne la résistance aux fluides de coupe pour le métal, les gants en caoutchouc nitrile offrent une meilleure performance à la perméation que les gants en néoprène, en caoutchouc naturel ou en vinyle [18,20]. Des auteurs 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 [14].

Par ailleurs, il a été montré que les caoutchoucs en contact avec certaines huiles et graisses peuvent subir des modifications de poids et gonfler [14,19,21-24,26,27,29]. 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 suite à une immersion dans les huiles à moteur et les fluides pour l'usinage du métal [14,19,24,26,27]. En effet, la nature polaire du caoutchouc nitrile le rend plus résistant aux huiles à base d'hydrocarbures que d'autres polymères tels que le caoutchouc naturel et le butyle [24-26].

Cependant, dans certains cas, même un très faible taux de gonflement peut être associé à des diminutions importantes des propriétés mécaniques des caoutchoucs comme l'a montré une étude réalisée sur du néoprène et du caoutchouc nitrile en immersion dans l'huile moteur [27]. Une des raisons possibles est liée au fait que le gonflement net résulte de la somme de deux phénomènes compétitifs [21,29] : l'extraction d'espèces solubles de la matrice polymère, entre autres les divers additifs tels que les plastifiants, les accélérateurs, les antioxydants et les agents vulcanisants, et la diffusion dans le matériau des huiles ou des fractions légères des graisses en contact avec sa surface externe.

De manière générale, des modifications de la dureté [23,29], de la résistance en tension [23,27-29] et de l'allongement à la rupture [23,25] ont été observées dans le cas de contact entre divers caoutchoucs et des huiles et des graisses à base d'hydrocarbures. L'amplitude et même la nature de ces changements dépendent entre autres du type de polymère et du contaminant. Il est à noter qu'une température élevée peut provoquer une amplification ou même une modification du phénomène. Ces effets au niveau des propriétés mécaniques ont été principalement attribués à une dégradation chimique du polymère [23,28] ou bien, dans certains cas, à une plastification [23] causée par la pénétration des composés à l'intérieur de la matrice polymère. Dans le cas de polymères chargés, une fragilisation des liaisons matrice-renfort a également été invoquée [27]. En ce qui concerne la résistance à la coupure, des mesures réalisées avec du néoprène montrent une réduction des performances en cas de contamination par de l'huile de coupe et de l'eau savonneuse [15,16]. Ce phénomène a été relié à une diminution de la friction dans le processus de coupure.

Finalement, il est important de mentionner que ces effets sur les propriétés mécaniques des matériaux de gants suite à un contact avec les huiles ou les graisses ne sont généralement pas associés à un changement de coloration du polymère [14,19]. Ceci rend la détection visuelle du processus difficile pour l'utilisateur.

1.4 But du projet et objectifs spécifiques

Ce projet avait pour but d'évaluer de manière exploratoire si une réduction de la résistance des gants de protection aux agresseurs mécaniques se produit lorsque ceux-ci sont en contact avec des contaminants industriels de type huile et graisse, ainsi qu'après qu'ils aient été soumis à un traitement de nettoyage. Cette étude a été réalisée sur un nombre limité de gants et de contaminants pertinents à certains milieux professionnels les plus concernés par cette problématique, c'est-à-dire l'usinage du métal, la préparation des aliments et la mécanique automobile. Les propriétés résiduelles de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure ont été mesurées à la fois sur des gants ayant subi un traitement de contamination et/ou de nettoyage en laboratoire, et sur quelques gants retirés après une utilisation normale en milieu de travail. Les informations recueillies seront utilisées d'une part pour sensibiliser les utilisateurs de gants quant à l'existence de cette problématique. D'autre part, elles serviront à proposer des recommandations relativement à la poursuite de travaux de recherche plus approfondis sur l'effet de contaminants de type huile et graisse et des traitements de nettoyage sur les gants de protection ainsi que sur les conséquences produites sur leurs propriétés de protection contre les risques mécaniques.

De manière plus précise, les quatre objectifs spécifiques suivants ont été poursuivis :

1. Réaliser un état de la situation chez les entreprises concernées par cette problématique dans les secteurs ciblés, c'est-à-dire l'usinage du métal, la préparation des aliments et la mécanique automobile.
2. Caractériser les propriétés résiduelles de résistance aux agresseurs mécaniques de gants de protection soumis à l'action de contaminants industriels et/ou ayant subi un nettoyage, ainsi que de gants usagés.
3. Incorporer les résultats de cette étude dans le guide de sélection des gants de protection contre les agresseurs mécaniques.
4. Fournir les éléments permettant d'évaluer la pertinence d'entamer des recherches plus poussées sur ce sujet.

2. MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

Une enquête a été réalisée par les membres du comité de suivi auprès de leurs contacts respectifs dans les secteurs de l'usinage du métal, de la transformation alimentaire et de la mécanique automobile afin d'identifier les modèles de gants de protection utilisés, les huiles et les graisses avec lesquels ils sont en contact et les fréquences de remplacement et/ou de nettoyage. Les résultats sont décrits dans la section 3.1 de ce rapport. Les informations obtenues ont également permis de sélectionner les couples gants / contaminants à étudier et de déterminer les conditions des traitements de contamination en laboratoire et de nettoyage, qui sont présentés dans les sections 2.2 et 2.3 ci-dessous.

2.1 Gants et contaminants

Pour chacun des secteurs de l'usinage du métal et de la mécanique automobile, trois modèles de gants ont été retenus pour l'étude des effets de la contamination en laboratoire, avec selon le cas un ou deux contaminants associés. Au niveau du secteur de la transformation alimentaire, étant donnée la difficulté à appliquer les contaminants pertinents (graisses d'origine animale entre autres), les mesures ont été réalisées uniquement sur des gants usagés obtenus auprès d'une compagnie d'abattage d'animaux. Par ailleurs, des échantillons usagés de deux modèles de gants du secteur de la mécanique automobile ont également été obtenus auprès d'un garage. Finalement, un des modèles de gants inclus dans le programme de contamination en laboratoire a été soumis à un traitement de nettoyage. La liste des gants, des contaminants et des traitements suivis est donnée au tableau 1.

Cinq types différents de contaminants industriels ont été utilisés pour les traitements en laboratoire. Il s'agit d'huiles de coupe (Cimstar 60C-HFP C-13 et Metaflux 70-03), d'une huile hydraulique (Safety Kleen H-10), d'un lubrifiant pour usinage (IRMCO 082-000), d'une huile moteur (MotorCraft 5W-20) et d'une graisse à roulements NLGI #2 (MotorCraft). Les informations disponibles sur la composition de ces différents contaminants sont données au tableau 2.

Au niveau des fluides pour usinage du métal, quatre grandes catégories de produits existent [14] : l'huile de coupe entière, l'huile soluble, l'huile semi-synthétique et l'huile synthétique. La première est composée à 100% de distillats raffinés de pétrole ou bien d'huiles végétales tandis que les trois autres contiennent une proportion croissante d'eau et d'additifs tels que des surfactants. Il est important de signaler que la résistance d'un polymère aux huiles et aux graisses de lubrification telles que celles employées dans les moteurs et les engrenages, peut être très différente selon la nature paraffinique ou naphénique du pétrole de base [29]. De plus, un nombre grandissant d'additifs ont été développés pour l'amélioration des performances des huiles à moteur automobile et à transmission [25]. Il s'agit en particulier d'antioxydants, d'inhibiteurs de corrosion, d'additifs extrême-pressure et anti-usure, d'agents dispersants, d'améliorants de la viscosité et d'agents de réduction du point d'écoulement. Ces différents additifs peuvent eux-mêmes agir sur le polymère du gant lors de son contact avec l'huile.

Tableau 1 - Liste des gants et des contaminants sélectionnés pour l'étude

Gant		Secteur	Traitements en laboratoire		Usagé
Modèle	Matériau		Contaminants	Lavage	
Superior GNTFC	Enduit de nitrile sur tricot de coton cousu	Usinage du métal	<ul style="list-style-type: none"> • Huile hydraulique Safety Kleen H-10 • Huile de coupe Cimstar 60C-HFP C-13 		
Best 4500	Enduit de nitrile au niveau de la paume sur tricot de nylon	Usinage du métal	<ul style="list-style-type: none"> • Huile de coupe Metaflux 70-03 		
Superior S13SXGPU	Enduit de polyuréthane au niveau de la paume sur tricot de Dyneema®	Usinage du métal	<ul style="list-style-type: none"> • Lubrifiant pour usinage IRMCO 082-000 		
Ansell 37-145	Nitrile non-supporté	Alimentaire			X
Ansell 11-500	Enduit de mousse de nitrile au niveau de la paume sur tricot de Kevlar®	Mécanique automobile	<ul style="list-style-type: none"> • Huile moteur MotorCraft 5W-20 • Graisse pour roulements MotorCraft NLGI #2 		
Permatex Nitrile coated	Enduit de nitrile au niveau de la paume sur tricot de nylon	Mécanique automobile			X
Permatex Mechanics	Cuir synthétique Clarino™ pour la paume et dessus Spandex	Mécanique automobile	<ul style="list-style-type: none"> • Huile moteur MotorCraft 5W-20 • Graisse pour roulements MotorCraft NLGI #2 	X	X

Tableau 2 - Composition des contaminants utilisés pour les traitements en laboratoire

Nom	Type	Composants listés
Cimstar 60C-HFP C-13	huile de coupe	<ul style="list-style-type: none"> • Distillats de pétrole naphtéinique fortement hydrotraités • Monoéthanolamine • Monoisopropanolamine • Alcools linéaires alcoxylés • Sulfonate alkylbenzène de sodium • Sulfonate synthétique de sodium
Metaflux 70-03	mousse de coupe	<ul style="list-style-type: none"> • Ingrédients secrets (65%) • Propane (25%) • n-Butane (10%)
Safety Kleen H-10	huile hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> • Huiles lubrifiantes usées (pétrole), hydrotraitées • Huiles lubrifiantes (pétrole, C>25, base <i>bright stock</i>), hydrotraitées • Huiles résiduelles (pétrole), déparaffinées au solvant • Huiles résiduelles (pétrole), raffinées au solvant • Additif contenant de l'huile minérale • Huile minérale • Dithiophosphates dialkylés de zinc
IRMCO 082-000	lubrifiant pour usinage	<ul style="list-style-type: none"> • Triéthanolamine • Acide oléique • Acide linoléique • Ether phosphate
MotorCraft 5W-20	huile moteur	<ul style="list-style-type: none"> • Huile de base fortement raffinée
MotorCraft	graisses à roulements NLGI #2	<ul style="list-style-type: none"> • Distillats de pétrole fortement paraffiniques et raffinés au solvant • Huiles résiduelles (pétrole), raffinés au solvant • Disulfide de molybdène

2.2 Traitement de contamination en laboratoire

La méthodologie de contamination en laboratoire a été conçue de manière à pouvoir étudier de manière contrôlée l'effet du contact des gants de protection avec les contaminants sur leurs propriétés mécaniques. Il est cependant à noter que le procédé de contamination ne prétend pas reproduire les conditions subies par les gants en milieu de travail, où l'interaction est souvent intermittente plutôt que sous forme d'un contact prolongé. Deux durées de contamination ont été sélectionnées, soit 1 heure et 8 heures.

La mise en contact des contaminants avec les gants a été réalisée uniquement avec la surface externe du gant. Dans le cas des contaminants liquides, un film mince de contaminant était versé dans un contenant à fond plat, et le gant était déposé délicatement à la surface de celui-ci comme illustré à la figure 1.a. Pour les contaminants visqueux comme les graisses, l'application se faisait directement à la surface du gant à l'aide d'un pinceau (figure 1.b). Un vaporisateur a également été utilisé dans le cas d'une mousse de coupe.

Une fois la période de contamination terminée, la surface des gants était délicatement essuyée pour enlever l'excédent de contaminant. Les échantillons nécessaires à la réalisation des différentes mesures de résistance aux agresseurs mécaniques (voir sections 2.5 à 2.7) étaient alors découpés en essayant d'éviter le transfert du contaminant de la surface externe à la surface interne du gant. Le temps entre le début de la contamination d'un échantillon et la réalisation d'un test était rigoureusement respecté.



a)



b)

Figure 1 - Configuration des traitements de contamination pour les contaminants liquides (a) et visqueux ou en mousse (b)

2.3 Traitement de nettoyage

En accord avec les habitudes d'usage des gants de protection identifiées dans le cadre de l'enquête réalisée par les membres du comité de suivi, le modèle de gant en cuir synthétique utilisé en mécanique automobile a été soumis à un traitement de nettoyage. Celui-ci a été réalisé par un nettoyeur industriel selon la procédure standard pour ce genre d'accessoire et ce type de salissure. Il s'agit d'un nettoyage dont le bain est constitué d'un solvant organique et d'un savon de charge, ce qui permet d'effectuer simultanément le dégraissage et le lavage. Les conditions du traitement de nettoyage sont décrites au tableau 3. Il est à noter que les conditions du traitement de nettoyage utilisées pour cette étude ne correspondent pas aux indications du fabricant pour ces gants, qui incluent de laver à l'eau froide et de ne pas sécher à la machine, sachant que celles-ci ne permettraient pas d'éliminer le type de salissures créées par une utilisation en mécanique automobile. On peut également mentionner qu'une attention particulière a été portée au suivi des délais, en particulier pour les gants précédemment soumis à un traitement de contamination. Dans ce cas, le nettoyage a été effectué le lendemain de la contamination.

Tableau 3 - Conditions du traitement de nettoyage

	Condition	Durée	Température
Lavage/dégraissage	Perchloroéthylène (solvant, 80L) + Fabricol (savon de charge, 3oz)	9 min	80°C
Essorage	≈ 800 tours / min	3 min	
Séchage	5 lb vapeur	30 min	140°C

2.4 Usure naturelle

Des spécimens usagés correspondant à trois modèles de gants ont été obtenus auprès de compagnies du domaine de la transformation alimentaire et de la mécanique automobile. Les propriétés mécaniques de ces gants ont été mesurées tels que reçus, c'est-à-dire sans qu'un nettoyage additionnel soit effectué. Il est à noter qu'aucune information n'était disponible sur les conditions de service individuelles des gants. La prise d'échantillons pour la réalisation des différents tests a été faite au hasard pour chaque modèle de gant.

Les gants Ansell 37-145 en nitrile non-supporté sont utilisés pour l'abattage, le désossage et la découpe de la viande. Ces gants sont en contact avec du gras animal, des os et des muscles. Selon les informations fournies par la compagnie les utilisant, ils sont lavés chaque jour d'opération par les travailleurs eux-mêmes. Ceux-ci les trempent dans un bassin contenant un savon alcalin chloré à une concentration de 2 à 4% en les frottant si nécessaire. Ils les tordent puis les mettent sur un crochet dans la salle de séchage, qui est munie d'un ventilateur.

Deux modèles de gants ont été fournis par une entreprise de mécanique automobile. Les gants Permatex composés d'un enduit de nitrile au niveau de la paume sur un tricot de nylon sont utilisés pour les travaux de lubrification, de graissage et de manipulation de pièces souillées. Les

gants Permatex Mechanics en cuir synthétique Clarino™ pour la paume et dessus Spandex servent aux travaux plus lourds comme la manutention des pièces de métal. Ces gants sont en contact entre autres avec les différentes huiles et graisses utilisées pour la mécanique automobile. Ces gants sont envoyés au nettoyage avec les vêtements de travail. Selon les informations obtenues auprès de la compagnie qui effectue le nettoyage des vêtements pour ce garage, les gants sont lavés avec une solution contenant un solvant organique (Varsol) pendant 30 minutes, rincés également avec cette solution pendant 30 minutes, essorés à 1600 tours / min pendant 20 minutes et séchés à 110 lb de vapeur pendant 20 minutes. Chaque technicien reçoit une paire de chacun de ces deux modèles de gants. La fréquence de remplacement est de deux fois par an en moyenne.

2.5 Mesure de la résistance à la coupure

Les mesures de résistance à la coupure ont été réalisées selon la méthode décrite dans les normes ASTM F 1790-05 [5] et ISO 13997 [6] relatives à la résistance à la coupure des vêtements de protection par des objets tranchants. Cette méthode est basée sur la détermination de la force qui correspond à la traversée de l'épaisseur du matériau testé par une lame ayant parcouru une distance de 20 mm (figure 2.a). Le tomodynamomètre TDM-100 (Les Produits Industriels RGI, Saint-Jean-sur-Richelieu, QC), conçu spécialement pour effectuer une telle caractérisation et recommandé spécifiquement dans les deux normes, a été utilisé pour cette étude (figure 2.b).

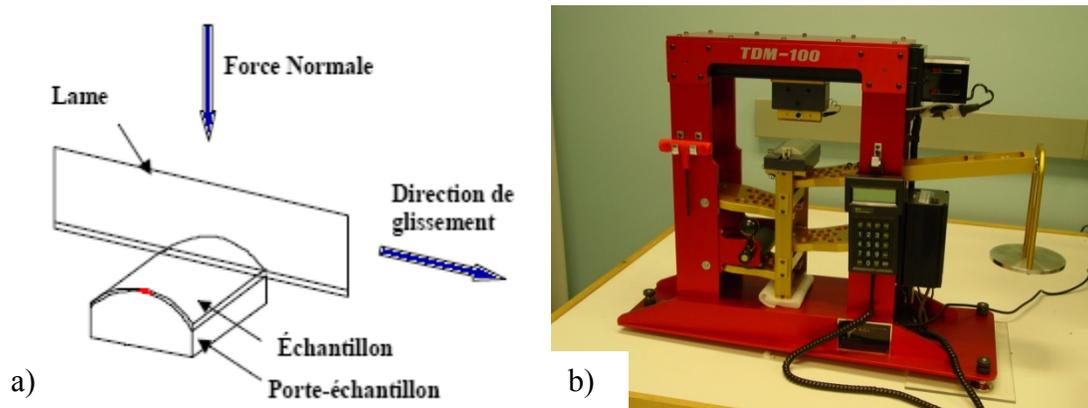


Figure 2 - Principe du test de résistance à la coupure par les objets tranchants (a) et photo du TDM-100 (b)

Les échantillons, d'une dimension de 50x100 mm, sont découpés dans la zone de la paume et incluent toutes les couches présentes dans le gant à cet endroit. Dans le cas de matériaux tissés, tricotés ou présentant une quelconque orientation, les échantillons sont découpés de manière à ce que l'axe de l'échantillon fasse un angle de 45° par rapport au sens de la chaîne. Les échantillons sont collés à l'aide d'un adhésif à double-face sur le support hémicylindrique (figure 2). Si l'adhésion de l'échantillon sur le support n'est pas suffisante, un dispositif d'immobilisation conçu spécialement à cet effet dans le cadre d'un autre projet [30] (figure 3), dont l'introduction dans la norme ASTM est actuellement en discussion [31], a été utilisé pour maintenir l'échantillon en place.

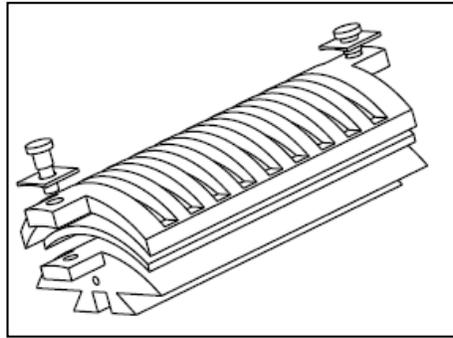


Figure 3 - Dispositif d'immobilisation utilisé pour maintenir en place les échantillons lors de la mesure de la résistance à la coupure

Une lame coupante en acier inoxydable (modèle 88-0121 de la compagnie American Safety Razor Co., Verona, États-Unis) est positionnée perpendiculairement au plan horizontal tangent à l'échantillon et à l'axe du support, et est déplacée avec une vitesse constante de 150 mm/min sur la surface de l'échantillon. Chaque lot de lame est validé à l'aide du néoprène de référence spécifié dans la norme ASTM F 1790-05. Cette étape de validation permet également le calcul du facteur de correction correspondant à la qualité du coupant de la lame. L'instant précis où la lame traverse le matériau est détecté par contact électrique à l'aide d'une bande de film mince conducteur placée sous l'échantillon.

La distance parcourue par la lame à la traversée de l'échantillon est mesurée pour différentes valeurs de la force appliquée sur cette lame. Un minimum de cinq mesures sont réalisées avec des forces différentes dans chacune des trois zones suivantes de distance parcourue par la lame jusqu'à coupure : 5-20 mm; 20-33 mm; 33-50 mm, soit un total d'au moins quinze essais par condition. Ces mesures prises avec les différents poids sont réparties sur trois gants différents d'un même modèle. Une lame neuve doit être employée pour chaque mesure. La distance minimale entre deux coupures adjacentes est de 6 mm.

La courbe donnant la variation de la force appliquée sur la lame en fonction de la distance parcourue permet d'obtenir par interpolation la valeur de la force correspondant à une distance de coupure de 20 mm. Si la valeur du coefficient de détermination (R^2) de la courbe de lissage est inférieure à 0,5, des tests supplémentaires sont réalisés, de même que si la moyenne d'une série de cinq mesures de vérification effectuées à la valeur de la force déterminée par interpolation se situe hors de la zone comprise entre 18 et 22 mm, tel que prescrit dans la norme ISO 13997. Pour chaque modèle de gant et chaque condition, la détermination de la valeur de résistance à la coupure implique donc la prise d'au moins 15 mesures. Cependant, celles-ci ne produisent qu'une valeur unique de résistance à la coupure.

2.6 Mesure de la résistance à la perforation

Pour les mesures de la résistance à la perforation, la méthode utilisée est celle décrite dans la norme ASTM F 1342-05 relative à la mesure de la résistance à la perforation des matériaux utilisés pour les vêtements de protection [7]. La quantité mesurée correspond à la force maximale enregistrée lors de la perforation de l'échantillon par une sonde normalisée. Le montage utilisé est illustré à la figure 4. Il comprend deux plaques perforées entre lesquelles l'échantillon est immobilisé. Ce montage est inséré dans une machine d'essai pourvue d'une cellule de charge de 50 lb (222 N) à laquelle est fixée la sonde. La sonde de type B a été choisie parmi les trois modèles proposés dans la norme de perforation car elle offre la meilleure reproductibilité au niveau des résultats [8]. Elle possède un diamètre de 1,02 mm et une extrémité hémisphérique. Le diamètre de l'ouverture circulaire dans les plaques porte-échantillon est de 10 mm.



Figure 4 - Photo du montage de perforation

Les échantillons sont découpés dans la zone de la paume et incluent toutes les couches présentes dans le gant à cet endroit. Les tests ont été réalisés à une vitesse constante de déplacement de la sonde de 500 mm/min.

Les valeurs de force appliquée et de déplacement de la sonde sont enregistrées au cours de la mesure, permettant la détermination de la valeur de la force maximale correspondant à la force de perforation. Pour chaque modèle de gant et chaque condition, un total de 12 répliques ont été produites, réparties également sur quatre spécimens de gants et situées à une distance minimale de 25 mm les unes des autres et par rapport au bord de l'échantillon. Des valeurs de moyenne et d'écart-type ont été calculées à partir des données obtenues pour ces 12 répliques.

2.7 Mesure de la résistance à la déchirure

La norme EN 388 relative aux gants de protection [32] utilise une géométrie d'échantillon de type T, constituée de bandes de dimensions 100 x 50 mm dans lesquelles une incision centrale de 50 mm de long est réalisée, pour mesurer la résistance à la déchirure des gants de protection

(figure 5.a). Les deux languettes ainsi créées sont fixées chacune dans une mâchoire d'une machine de traction ainsi qu'illustré sur la figure 5.b. Lors du test, les mâchoires se séparent à une vitesse constante de 100 mm/min. La variation de la force appliquée en fonction du déplacement est enregistrée, permettant la détermination de la valeur maximale de la force.

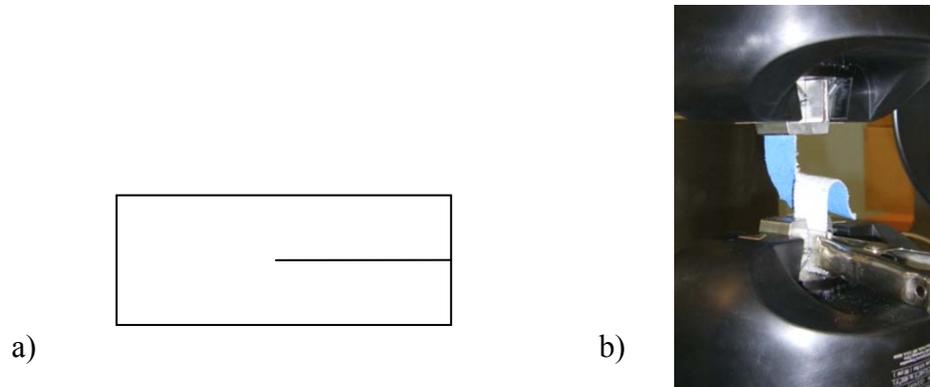


Figure 5 - Configuration de l'échantillon de déchirure de type T (a) et positionnement dans les mâchoires de la machine de traction (b)

Pour chaque modèle de gant et chaque condition, deux échantillons sont découpés longitudinalement et deux transversalement dans la paume de quatre gants différents. La résistance à la déchirure correspond à la valeur la plus faible des forces maximales obtenues pour ces quatre répliques. Il est à noter que cette méthode normalisée ne permet pas le calcul de la variabilité de la mesure.

3. RÉSULTATS

3.1 Portrait de la situation

Des informations sur les habitudes d'usage des gants de protection ont été obtenues par le biais des membres du comité de suivi dans trois secteurs d'activités où coexistent les risques mécaniques et la présence de contaminants de type huile et graisse : l'usinage du métal, la transformation alimentaire et la mécanique automobile.

En ce qui concerne l'usinage du métal, deux grandes catégories de gants ont été identifiées, les gants en tricot enduit et les gants en cuir. Les contaminants en présence comprennent des huiles de coupe, des huiles hydrauliques, des huiles à glissière, des lubrifiants à usinage, des lubrifiants pour embossage, et des huiles végétales. Pour la première catégorie de gants, les enduits répertoriés incluent le nitrile et le polyuréthane, et les supports tricotés sont en coton, en nylon ou en Dyneema®. Ces gants ne sont pas lavés, et la fréquence de remplacement varie entre 1 heure et 1 semaine. Dans le cas des gants en cuir et cuir / coton, ils sont soit remplacés tous les 2-3 jours ou lavés avec une fréquence de rotation de 3 à 5 par jour, ce lavage étant effectué à l'externe.

Au niveau du secteur de la mécanique automobile, trois types de gants sont utilisés au contact des huiles (5W20, 5W30, 5W40) et des graisses (NLGI#2). Les gants à usage unique en nitrile sont remplacés deux à trois fois par jour. Les gants en tricot enduit de caoutchouc naturel ou de nitrile sont envoyés au nettoyage avec les autres vêtements de travail et sont remplacés deux à trois fois par an. La même situation prévaut pour les gants en cuir synthétique (paume Clarino®) de style mécanicien. L'utilisation de gants en tricot enduit et en cuir synthétique semble pour l'instant être limitée à un nombre restreint de compagnies.

Finalement, dans le secteur de la transformation alimentaire, trois types de gants entrant en contact avec le gras animal ont été répertoriés. Les gants à usage unique en nitrile sont portés au dessus des gants en polyester/coton protégeant contre le froid. Les gants en nitrile non-supporté sont lavés par les travailleurs eux-mêmes tous les jours d'opération dans un bain avec un savon alcalin chloré à une concentration de 2 à 4%, puis suspendus à un crochet dans une pièce munie d'un ventilateur pour le séchage. Dans le cas des gants en caoutchouc naturel épais sur support flanelle utilisés par les découenneurs (« skimmers »), le même produit de lavage est employé mais avec l'ajout d'une mousse et d'un assainissant en solution acide (1500ppm). Ces gants ne sont pas rincés et sont également séchés sur un crochet dans une pièce équipée d'un ventilateur.

3.2 Résultats des traitements en laboratoire

Cinq modèles de gants ont été soumis à des traitements de contamination en laboratoire selon la méthodologie décrite dans la section 2.2 de ce rapport et, selon le cas, avec un ou deux contaminants pertinents à leur usage en milieu de travail (tableau 1). Un des modèles de gant a également subi un traitement de nettoyage, réalisé sur gant neuf et après contamination. Les performances résiduelles de résistance aux agresseurs mécaniques de ces gants ont été mesurées

suite à ces traitements de contamination et/ou de nettoyage. Les résultats correspondants sont décrits dans les sous-sections suivantes relatives à chaque modèle de gant.

3.2.1 Gants en enduit de nitrile sur tricot de coton

Des gants en enduit de nitrile sur tricot de coton (modèle GNTFC de Superior) ont été soumis à une contamination par une huile hydraulique et une huile de coupe (tableau 1) pendant des périodes de 1h et 8h. Les effets de cette contamination sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure sont présentés au tableau 4. De manière générale, une réduction des forces de coupure et de perforation suite à l'exposition aux contaminants est observée tandis que la force de déchirure des échantillons contaminés semble être plus élevée. Par ailleurs, les effets de l'huile de coupe sur la résistance mécanique des gants sont beaucoup plus importants que ceux de l'huile hydraulique, provoquant par exemple une réduction des forces de coupure et de perforation d'un facteur 2 environ après une exposition de 8 heures. Cette différence pourrait être due en partie à la présence de composés naphthéniques dans la formulation de l'huile de coupe. En effet, les huiles naphthéniques possèdent une meilleure solubilité dans les polymères polaires que celles à base paraffinique [33].

Tableau 4 - Effet de la contamination par de l'huile hydraulique et de l'huile de coupe sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de nitrile sur tricot de coton (Écart-type entre parenthèse)

Contaminant	Durée d'exposition	Coupure	Perforation	Déchirure
		Force (N)	Force (N)	Force (N)
	0	4,3	20 (4)	20
Huile hydraulique	1h	3,8	16 (4)	27
	8h	4,0	17 (3)	22
Huile de coupe	1h	3,3	16 (4)	32
	8h	2,6	8 (2)	28

3.2.2 Gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon

Des gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon (modèle 4500 de Best) ont été soumis à une contamination par une huile de coupe (tableau 1) pendant des périodes de 1h et 8h. Les effets de cette contamination par l'huile de coupe sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure sont présentés au tableau 5. Une réduction de la force de perforation est mesurée tandis qu'aucun effet marquant n'est observé au niveau de la coupure et de la déchirure.

Tableau 5 - Effet de la contamination par de l'huile de coupe sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon (Écart-type entre parenthèse)

Durée d'exposition	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
0	2,4	8 (2)	59
1h	2,9	6 (1)	63
8h	2,7	5 (2)	56

3.2.3 Gants en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar®

Des gants en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar® (modèle 11-500 de Ansell) ont été soumis à une contamination par une huile à moteur et une graisse pour roulements (tableau 1) pendant des périodes de 1h et 8h. Les effets de cette contamination sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure sont présentés au tableau 6. Dans le cas des deux types de contaminants, une augmentation de la force de coupure est mesurée tandis qu'aucun effet n'est observé au niveau de la perforation. Pour la déchirure, la nature non-monotone des variations mesurées avec l'huile à moteur et le nombre limité de données empêchent de tirer des conclusions.

Tableau 6 - Effet de la contamination par de l'huile à moteur et de la graisse pour roulements sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar® (Écart-type entre parenthèse)

Contaminant	Durée d'exposition	Coupure	Perforation	Déchirure
		Force (N)	Force (N)	Force (N)
	0	5,2	5 (2)	56
Huile à moteur	1h	6,4	5 (1)	50
	8h	6,4	5 (1)	60
Graisse pour roulements	1h	6,6	5 (2)	61
	8h	6,8	4 (2)	61

3.2.4 Gants en enduit de polyuréthane sur tricot de Dyneema®

Des gants en enduit de polyuréthane sur tricot de Dyneema® (modèle S13SXGPU de Superior) ont été soumis à une contamination par un lubrifiant pour usinage (tableau 1) pendant des périodes de 1h et 8h. Les effets de cette contamination sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure sont présentés au tableau 7. Les conséquences de l'action du contaminant sont essentiellement observables au niveau de la perforation, avec une réduction de la force de plus d'un facteur 2 après un contact de 8 heures.

Tableau 7 - Effet de la contamination par un lubrifiant pour usinage sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en enduit de polyuréthane sur tricot de Dyneema® (Écart-type entre parenthèse)

Durée d'exposition	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
0	5,4	4,3 (1,6)	249
1h	4,9	2,4 (1,2)	273
8h	5,2	1,8 (0,5)	224

3.2.5 Gants en cuir synthétique

Des gants en cuir synthétique (modèle Mechanics de Permatex) ont été soumis à une contamination par une huile à moteur et une graisse pour roulements (tableau 1) pendant des périodes de 1h et 8h. Les effets de cette contamination sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure sont présentés au tableau 8. Les propriétés des gants ont également été mesurées après un nettoyage réalisé sur des gants neufs et sur des gants ayant été exposés pendant 8h à une contamination par l'huile et la graisse. Ces résultats sont présentés au tableau 9. Une augmentation de la force de perforation est observée à la fois pour les échantillons contaminés et pour ceux ayant subi les traitements de nettoyage tandis que les effets sur la coupure et la déchirure semblent négligeables.

Tableau 8 - Effet de la contamination par de l'huile à moteur et de la graisse pour roulements sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en cuir synthétique (Écart-type entre parenthèse)

Contaminant	Durée d'exposition	Coupure	Perforation	Déchirure
		Force (N)	Force (N)	Force (N)
	0	1,5	26 (6)	22
Huile à moteur	1h	1,5	31 (6)	22
	8h	1,4	31 (8)	27
Graisse pour roulements	1h	1,7	28 (6)	22
	8h	1,5	29 (6)	23

Tableau 9 - Effet du nettoyage sur la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants en cuir synthétique pour des gants neufs et ayant subi une période de contamination de 8 heures dans de l'huile et de la graisse pour roulements (Écart-type entre parenthèse)

Traitement	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
Neuf	1,5	26 (6)	22
Neuf nettoyé	1,5	34 (8)	28
Huile 8h nettoyé	1,6	38 (3)	23
Graisse 8h nettoyé	1,5	39 (6)	25

Il est à noter qu'il avait été observé lors de tests préliminaires que des différences de performance semblaient exister entre les deux tailles de gants fournies par le manufacturier, XL et XXL. Plus précisément, les valeurs de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure les plus élevées correspondaient généralement aux gants de taille XL, avec des différences d'un facteur 2 entre les deux tailles. Étant donné que la différence de résistance mécanique entre les deux tailles XL et XXL était notable même si l'épaisseur du matériau à la paume était la même, la surface des échantillons a été observée au microscope électronique à balayage. Il est apparu que la structure microscopique du matériau était relativement différente entre les deux tailles ainsi que la figure 6 le montre. En particulier, on note la présence d'une plus grande proportion de matrice polyuréthane, qui agit comme liant entre les fibres, dans le cas des gants XL. Cette distinction semblant exister entre les tailles XL et XXL pour les spécimens reçus pourrait être due au processus de fabrication. En effet, les séries correspondant aux tailles différentes peuvent éventuellement être réalisées par lot à partir de feuilles de matériau différentes. En raison de ces écarts de qualité entre les spécimens de gants disponibles pour l'étude et afin de limiter les risques de biais dus à cette différence mise en évidence entre les deux tailles de gants reçues pour les essais, une attention particulière a été portée pour intégrer un nombre égal de gants des deux tailles dans chacun des types de mesure et pour chaque condition.

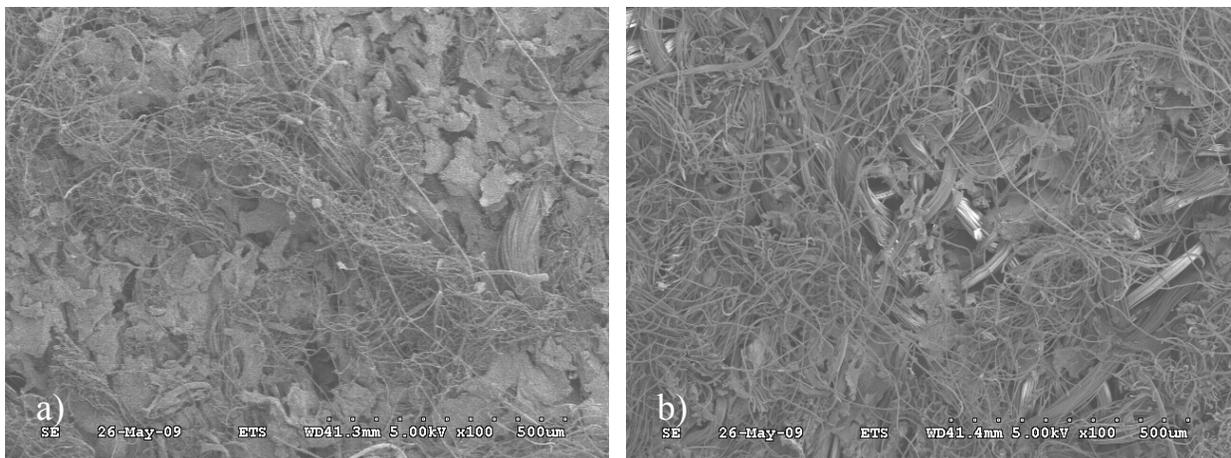


Figure 6 - Photos au microscope électronique à balayage de la surface externe d'échantillons pris dans la paume de gants XL (a) et XXL (b)

3.3 Résultats de l'usure naturelle

Des spécimens usagés ont été obtenus auprès de compagnies du domaine de la transformation alimentaire et de la mécanique automobile. Leurs performances résiduelles de résistance aux agresseurs mécaniques ont été caractérisées et comparées aux résultats correspondant aux gants neufs. Les résultats sont présentés dans les sous-sections suivantes relatives à chaque modèle de gant.

3.3.1 Gants en nitrile non-supporté

Les valeurs de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure de gants en nitrile non-supporté (modèle 37-145 de Ansell) ont été mesurées sur des spécimens usagés obtenus d'une compagnie œuvrant dans la transformation alimentaire et ont été comparées aux résultats obtenus pour des gants du même modèle mais neufs. Les résultats sont présentés au tableau 10.

Tableau 10 - Résistance aux agresseurs mécaniques des gants en nitrile non-supportés neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)

Condition	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
Neuf	0,7	28 (3)	1,5
Usagé	0,6	23 (4)	1,1

Globalement, les différences sont relativement faibles entre les valeurs de résistance à neuf et celles mesurées pour les spécimens usagés. Dans le cas de la coupure et de la déchirure, les variations sont situées à l'intérieur de la précision de la mesure. En ce qui concerne la perforation, une diminution plus nette des performances est observée. Un nombre plus élevé de spécimens usagés et la comparaison avec des gants neufs provenant des mêmes lots permettraient possiblement d'obtenir des observations plus probantes.

3.3.2 Gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon

Les valeurs de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure de gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon (modèle «Nitrile coated» de Permatex) ont été mesurées sur des spécimens usagés obtenus d'une compagnie œuvrant dans la mécanique automobile et ont été comparées aux résultats obtenus pour des gants neufs du même modèle. Les résultats sont présentés au tableau 11.

Tableau 11 - Résistance aux agresseurs mécaniques des gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)

Condition	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
Neuf	2,9	10,6 (1,5)	41
Usagé	2,7	8,0 (1,2)	27

Une réduction des performances est observée pour la résistance à la perforation et à la déchirure. Un examen visuel indique un état de détérioration avancé, se traduisant par une modification majeure de la couleur autant pour le tricot de support que pour l'enduit en nitrile, et par la formation de pores dans la couche de nitrile (figure 7). L'hypothèse d'une dégradation chimique et/ou mécanique des gants est donc avancée pour expliquer la réduction de leurs propriétés de protection contre les agresseurs mécaniques.



Figure 7 - Photos de gants en enduit de nitrile sur tricot de nylon a) neuf et b) usagé

3.3.3 Gants en cuir synthétique

Les valeurs de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure de gants en cuir synthétique (modèle Mechanics de Permatex) ont été mesurées sur des spécimens usagés obtenus d'une compagnie œuvrant dans la mécanique automobile et ont été comparées aux résultats obtenus pour des gants neufs du même modèle. Les résultats sont présentés au tableau 12. Il est à noter que trois séries de mesures de la force de coupure ont été réalisées sur les gants usagés, permettant le calcul d'une moyenne et d'un écart-type.

Tableau 12 - Performances contre les agresseurs mécaniques des gants en cuir synthétique neufs et usagés (Écart-type entre parenthèse)

Condition	Coupure	Perforation	Déchirure
	Force (N)	Force (N)	Force (N)
Neuf	1,5	26 (6)	22
Usagé	5,5 (0,9)	23 (3)	24

Les résultats du tableau 12 montrent une très large augmentation de la force de coupure pour les gants usagés. Or, les traitements de contamination en laboratoire réalisés sur le même modèle de gant (voir section 3.2.5) n'ont pas produit d'effet sur la force de coupure. De plus, l'épaisseur des gants neufs et usagés est la même. Par contre, les gants usagés présentent une rigidité et une dureté beaucoup plus importantes que les gants neufs, comme en témoigne la formation de craquelures à travers la surface du gant (figure 8.a). Or, il a déjà été démontré que pour les caoutchoucs la force de coupure augmente avec la rigidité des matériaux [16]. Cette augmentation de la résistance à la coupure des gants usagés peut donc possiblement être attribuée à une rigidification du matériau causé par un effet physique ou chimique suite au contact avec les différents contaminants industriels et aux traitements de nettoyage. Il est à noter que certaines sections du gant présentent des signes d'affaiblissement importants, en particulier dans les zones

correspondant aux articulations de la main (figure 8.a), où il est possible que la résistance à la coupure soit plus faible.

En ce qui concerne les forces de perforation et de déchirure, les variations observées entre les gants neufs et usagés semblent faibles. Cette absence d'effet marquant est étonnante en regard de la modification mesurée pour la résistance à la coupure. Par ailleurs, il est à noter que, de la même façon que pour la coupure, la résistance à la perforation et à la déchirure peut varier localement en fonction de l'état d'usure du matériau. Par exemple, aucune protection contre la perforation n'est offerte aux endroits où le gant a perdu son intégrité physique par la présence entre autres de trous (figure 8.b).



Figure 8 - Photos de gants usagés en cuir synthétique

4. DISCUSSION

4.1 Importance de la problématique

Ces résultats, quoique préliminaires, montrent des effets parfois importants de l'exposition aux huiles et aux graisses utilisées en mécanique automobile et en usinage du métal, des traitements de nettoyage et de l'usure normale sur les propriétés de résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure de certains modèles de gants de protection. Les résultats obtenus sont résumés au tableau 13 pour l'effet des contaminants et au tableau 14 pour l'effet de l'usure naturelle et du traitement de nettoyage.

En ce qui concerne les effets de la contamination en laboratoire (tableau 13), on observe dans certains cas une diminution de la résistance à la coupure et à la perforation, pouvant aller jusqu'à 38% et 59% respectivement pour certains couples gants/contaminants. La diminution des propriétés de résistance à la coupure et à la perforation peuvent être causée par la dégradation du matériau du gant ou encore être due à l'effet lubrifiant des huiles. Dans d'autres cas, on observe une augmentation de la résistance à ces propriétés due à la perte d'additifs qui s'accompagne d'un durcissement du matériau.

Tableau 13 - Synthèse de l'effet des traitements de contamination en laboratoire sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques de la liste de gants étudiés

Matériau du gant	Contaminant	Coupure		Perforation		Déchirure	
		1 h	8 h	1 h	8 h	1 h	8 h
Nitrile sur tricot de coton	Huile hydraulique	-10%	-6%	-20%	-15%	+30%	+7%
	Huile de coupe	-22%	-38%	-17%	-58%	+58%	+39%
Nitrile sur tricot de nylon	Huile de coupe	+25%	+13%	-23%	-30%	+8%	-5%
Mousse de nitrile sur tricot de Kevlar®	Huile moteur	+24%	+24%	+4%	-7%	-11%	+8%
	Graisse	+28%	+32%	-11%	-22%	+10%	+10%
PU sur tricot de Dyneema®	Lubrifiant pour usinage	-8%	-3%	-44%	-59%	+10%	-10%
Cuir synthétique	Huile moteur	-1%	-7%	+18%	+19%	+2%	+21%
	Graisse	+12%	-1%	+7%	+10%	0%	+3%

Tableau 14 - Synthèse de l'effet du traitement de nettoyage et de l'usure naturelle sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques de la liste de gants étudiés

Matériau du gant	Traitement	Coupure	Perforation	Déchirure
Nitrile non-supporté	Usure naturelle	-12%	-17%	-28%
Nitrile sur tricot de nylon	Usure naturelle	-9%	-24%	-34%
Cuir synthétique	Nettoyage	-1%	+27%	+27%
	Huile 8h + nettoyage	+5%	+44%	+6%
	Graisse 8h + nettoyage	+5%	+49%	+11%
	Usure naturelle	+267%	-12%	+9%

En ce qui concerne l'effet du nettoyage, la solution employée dans cette étude avec les gants en cuir synthétique est basée sur l'usage de solvants organiques et d'une température relativement élevée, ce qui ne correspond pas aux recommandations du fabricant pour ces gants. Il s'agit cependant des conditions typiques de nettoyage rapportées pour le secteur concerné (mécanique automobile) et les seules selon les spécialistes du domaine permettant une élimination des salissures générées par ce type d'activité. Les effets observés suite à un traitement de nettoyage se manifestent de manière importante uniquement au niveau de la force de perforation et provoquent une augmentation de sa valeur entre 30 et 50% selon que le nettoyage ait été précédé ou non d'un traitement de contamination dans l'huile ou la graisse (tableau 14). Ce résultat doit cependant être considéré avec beaucoup de précaution. En effet, les gants subissant le plus souvent un nombre de nettoyages important avant d'être retirés au bout de quatre à six mois d'utilisation, leur effet global peut ne pas être extrapolable à partir du résultat obtenu suite à un seul traitement de nettoyage. Il est également intéressant de noter que le nettoyage ne semble pas permettre une disparition des effets causés par le contact avec les huiles et les graisses, la force de perforation présentant globalement le même décalage après nettoyage que par effet de la contamination.

Par ailleurs, les mesures réalisées sur des gants usagés en nitrile non-supporté et en nitrile sur tricot de nylon des secteurs de la transformation alimentaire et de la mécanique automobile ont montré l'existence d'une certaine réduction de la résistance à la perforation et à la déchirure. Cet effet peut générer une diminution du niveau de protection contre les agresseurs mécaniques en fin de vie des gants. Dans le cas des gants en cuir synthétique, le problème semble plutôt associé à un durcissement et une rigidification du matériau du gant, qui pourraient causer entre autres une réduction des capacités motrices et induire une fatigue musculaire excessive [34].

Finalement, il est important de noter que des comportements différents pour les trois propriétés mesurées ont généralement été observés pour un même modèle de gant soumis à des conditions de traitement identiques. En effet, le mécanisme sous-jacent à la résistance à ces trois propriétés n'est pas le même. Il implique une large contribution de la friction dans le cas de la coupure [15], il est contrôlé par la déformation locale du matériau pour la perforation [15] et il combine des processus de déformation du matériau et de propagation de la fissure pour la déchirure [35]. Par

ailleurs, dans le cas de structures multi-matériaux comme les gants en tricot enduit de polymère, la résistance aux trois agresseurs mécaniques peut être donnée par des composants différents du gant, lesquels peuvent présenter des niveaux de sensibilité différents aux contaminants. Par exemple, dans le cas du gant en polyuréthane sur tricot de Dyneema®, une forte diminution de la résistance à la perforation suite à la contamination a été observée (tableau 13) et indique une dégradation du polyuréthane. Par contre, aucun effet important n'est observable au niveau de la résistance à la coupure, qui est contrôlée par le support en Dyneema®. Ceci indique qu'il n'est pas possible d'estimer l'évolution d'une propriété de résistance aux agresseurs mécaniques à partir du comportement affiché par une autre et démontre l'importance de mesurer chacune de ces trois propriétés.

4.2 Comparaison entre l'usure naturelle et les traitements de laboratoire

Dans le cadre de cette étude, des mesures de résistance résiduelle des matériaux de gants de protection ont été réalisées à la fois suite à des traitements de contamination en laboratoire par des huiles et des graisses utilisées dans les secteurs de l'usinage du métal et de la mécanique automobile, mais aussi sur des gants usagés obtenus d'entreprises du domaine de la transformation alimentaire et de la mécanique automobile. Cependant, dans la majorité des cas, les résultats ne sont pas comparables car ils ne concernent pas les mêmes couples gant/contaminant. La seule exception est le modèle de gant en cuir synthétique, qui a été exposé en laboratoire à une huile à moteur et à une graisse pour roulements, pour lequel des spécimens usagés ont été obtenus auprès d'un garage. Ce même modèle de gant a également été soumis à un traitement de nettoyage avec et sans contamination préalable.

Les effets produits par les traitements de contamination en laboratoire (augmentation marquée de la force de perforation et absence de tendance claire pour la coupure et la déchirure, voir tableau 8), qui sont similaires à ceux causés par le traitement de nettoyage (tableau 9), sont par contre totalement différents des modifications observées pour les gants usagés, pour lesquels un accroissement de 267% de la force de coupure a été mesuré (tableau 12). Ceci indique que le processus de contamination à court terme ne peut à lui seul expliquer les transformations structurales des matériaux des gants causées par l'usage. Ces deux phénomènes sont cependant tous deux d'un grand intérêt pour la sécurité des utilisateurs des gants. La même conclusion prévaut en ce qui concerne la différence entre l'application d'un seul traitement de nettoyage et les propriétés des gants usagés.

4.3 Hypothèses préliminaires sur les mécanismes en jeu

Une analyse préliminaire des effets de la contamination mesurés sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques des gants a été réalisée afin de proposer des pistes en termes de mécanismes pouvant expliquer ces changements. Cependant, il est à noter qu'une étude plus approfondie est indispensable pour comprendre les phénomènes en cause.

À partir des comportements observés pour les différents gants et les trois propriétés, deux formes d'action des contaminants de type huile et graisse semblent pouvoir être identifiées. Dans certains cas, l'effet est immédiat et paraît indépendant du temps d'exposition. Il peut possiblement être attribué à un phénomène de lubrification de la surface de l'échantillon. Il s'agit, par exemple, du comportement observé pour la résistance à la coupure du gant en enduit de mousse de nitrile sur tricot de Kevlar® exposé à une huile à moteur (tableau 6). Dans d'autres cas, une diminution graduelle de la résistance en fonction du temps d'exposition est observée, comme par exemple pour la résistance à la perforation du gant en enduit de nitrile sur tricot de coton soumis à une contamination par une huile de coupe (tableau 4). Ce comportement peut éventuellement être attribué à une modification progressive du matériau par le contaminant. Celle-ci peut être de nature physique : les contaminants pénétrant dans la membrane jouent le rôle de plastifiants dans le réseau polymère [23,29] et réduisent graduellement la rigidité du matériau [36]. Le processus peut aussi être chimique, entraînant une dégradation du polymère par les contaminants [23,28] et une réduction de sa résistance mécanique. Il est à noter que ces contributions en surface (lubrification) et en volume (modification physique/chimique) peuvent intervenir de manière simultanée.

Dans le cas de la coupure, le contact avec des huiles peut provoquer une diminution de la résistance causée par un effet de lubrification sur les bords de la lame. Par ailleurs, étant donné que la résistance à la coupure des caoutchoucs augmente avec le module de rigidité du matériau [16], une réduction du module provoquée soit par l'action de plastification des contaminants ayant pénétré le réseau polymère [23], soit par dégradation chimique du matériau [27], peut être à l'origine de la réduction de la force de coupure suite à l'exposition aux contaminants. Il est à noter que l'effet inverse observé dans le cas des gants usagés en cuir synthétique, c'est-à-dire une augmentation majeure de la force de coupure (tableau 12), a été attribué à une rigidification du matériau.

En ce qui concerne la perforation, la diminution de la force suite aux traitements de contamination peut aussi être attribuée à l'action plastifiante des contaminants ayant pénétré dans la membrane polymère du gant [23,27,28]. En effet, cette plastification provoque une réduction de la résistance mécanique du matériau en général et plus particulièrement de sa contrainte à la rupture dont dépend la force de perforation [15,37]. La réduction de la résistance à la déchirure peut également être associée à un phénomène de dégradation physique, chimique et/ou mécanique du matériau [36].

4.4 Réflexions sur la procédure expérimentale

La méthodologie utilisée dans cette étude se base sur la mesure, à l'aide de tests normalisés, de trois propriétés de résistance des gants commerciaux aux agresseurs mécaniques, la coupure, la perforation et la déchirure. Une variabilité élevée au niveau de certains résultats a limité leur analyse dans le cadre de cette étude exploratoire. De plus, le traitement des résultats des tests de résistance à la coupure et à la déchirure tel que décrit dans les normes, ne permet pas de faire une analyse statistique.

Dans le cas de la perforation, la méthode normalisée permet directement la détermination d'une valeur moyenne et d'un écart-type à partir de la production de 12 répliques inter- et intra-

spécimen. Pour la coupure et la déchirure, des modifications aux méthodes de traitements des données pourraient être réalisées afin de permettre une analyse statistique sur les résultats observés quant à l'effet des contaminants sur la résistance des gants. En ce qui concerne la coupure, la répartition sur trois spécimens différents des trois poids utilisés pour la production des 15 points expérimentaux donnant par lissage la valeur de la force correspondant à une distance de coupe de 20 mm permet déjà de prendre en compte les effets de la variabilité inter- et intra-spécimen dans le résultat. Le calcul de l'intervalle de confiance correspondant pourrait être utilisé pour quantifier cette variabilité. Dans le cas de la déchirure, la méthode normalisée est basée sur un principe des extrêmes, c'est-à-dire que la valeur de force maximale la plus faible pour les quatre répliques mesurées, deux horizontales et deux verticales, constitue le résultat. Pour tenir compte de la variabilité intra-spécimen, la moyenne des valeurs maximales enregistrées sur la distance de déchirure pourrait être déterminée pour quatre spécimens de gants différents, les échantillons étant découpés à un angle de 45° comme dans le cas de la coupure. Le résultat serait constitué de la moyenne et de l'écart-type des valeurs obtenues pour ces quatre répliques.

Une source importante de variabilité peut être associée aux spécimens d'étude. Tout d'abord, certaines structures de gants, par exemple les tricots enduits de polymères, confèrent au matériau une nature non-uniforme et non-continue. Par conséquent, selon la position de la fissure créée par l'agresseur mécanique par rapport aux mailles du support tricoté par exemple, des variations importantes de la résistance peuvent être mesurées. Par ailleurs, les procédés de fabrication des gants commerciaux, par exemple le trempage, peuvent générer des variations locales d'épaisseur d'enduit, donc de performance. Finalement, comme cela a été observé dans le cas des gants en cuir synthétique, des variations de composition entre les gants d'un même modèle peuvent parfois se produire, ce qui génère éventuellement de la variabilité dans les résultats. Il apparaît donc judicieux, afin d'améliorer la précision des résultats obtenus dans le cadre d'une investigation plus approfondie de l'effet de la contamination des gants, d'utiliser des spécimens aussi identiques que possible pour chaque groupe étudié, d'utiliser un plus grand nombre de spécimens ou encore de travailler avec des matériaux homogènes disponibles en plaque.

Un dernier point à mentionner dans cette réflexion sur la procédure expérimentale concerne les spécimens usagés dont la mesure procure une information indispensable sur le comportement en service des gants. Pour les spécimens obtenus pour cette étude, aucune information n'était disponible sur les conditions individuelles et la durée d'utilisation, ce qui a limité l'exploitation des résultats. La qualité des informations générées pourrait être augmentée si un protocole plus strict était suivi pour l'obtention des spécimens usagés. Ceci inclurait un échantillonnage des gants à différents temps d'utilisation ainsi qu'une documentation complète des sollicitations subies, qu'elles soient associées au travail effectué par l'utilisateur des gants ou à l'entretien des gants.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude a permis d'analyser trois aspects relatifs à l'effet des conditions réelles d'utilisation des gants de protection sur leurs propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques (coupure, perforation et déchirure) pour les secteurs de l'usinage du métal, de la mécanique automobile et de la transformation alimentaire où les risques mécaniques se combinent souvent à la présence de divers contaminants industriels de type huile et graisse. Il s'agit d'une part de l'exposition à court et moyen terme (1h et 8h) à des huiles et des graisses, d'autre part de l'application d'un traitement de nettoyage industriel avec et sans contamination préalable des gants, et finalement d'un usage normal en milieu de travail à long terme, c'est-à-dire correspondant à la durée de service jusqu'au retrait.

Malgré le caractère préliminaire de cette étude, en particulier le nombre très limité de gants et de contaminants employés, les résultats ont démontré l'effet important de certaines conditions sur les propriétés de résistance aux agresseurs mécaniques de certains gants. Par exemple, des diminutions de la résistance à la coupure et à la perforation allant respectivement jusqu'à 38% et 59% ont été mesurées dans le cas de certains couples gants/contaminants lors des essais de contamination en laboratoire. Ceci indique donc l'importance de poursuivre ces travaux, en particulier en étendant l'analyse à l'ensemble des types et matériaux de gants de protection et aux grandes familles de contaminants industriels. Il devient également important d'identifier les mécanismes à la base des modifications de cette résistance aux agresseurs mécaniques, afin de pouvoir proposer des solutions permettant de minimiser cette problématique.

En ce qui concerne les gants usagés, des diminutions substantielles de résistance à la perforation et à la déchirure allant jusqu'à 34% ont été mesurées dans certains cas, ce qui indique une perte d'efficacité des gants au cours de leur vie en service. En outre, il est apparu que les résultats produits par une contamination à court et moyen terme ne semblent pas permettre la prédiction du comportement des gants suite à une utilisation à long terme (i.e. pendant la durée de service). Une analyse plus approfondie sera donc nécessaire pour identifier l'origine des changements de résistance des gants au cours de leur utilisation et déterminer leurs effets en particulier selon les matériaux des gants et les conditions rencontrées.

Par ailleurs, une augmentation notable de la résistance à la perforation des gants en cuir synthétique a été mesurée après un seul traitement de nettoyage. Or, les gants de protection utilisés pendant une longue période de temps en milieu de travail peuvent être soumis à un nombre important de nettoyages au cours de leur vie en service. Par conséquent, une étude de l'effet du nettoyage des gants de protection sur leurs propriétés de résistance mécanique devra comporter un nombre de traitements comparable à ce qui est subi par les gants en situation réelle. Elle devra également s'appliquer sur les différents types de gants concernés par cette situation, qui sont le plus souvent ceux comportant des fibres à haute performance plus coûteuses.

Finalement, des améliorations au niveau de la méthodologie apparaissent nécessaires. Il s'agit en particulier de modifier la méthode d'acquisition et de traitement des données de sorte que des analyses statistiques puissent être réalisées pour la comparaison des résultats. Il est aussi nécessaire d'avoir un contrôle sur la procédure d'obtention des spécimens neufs et usagés permettant de comparer des gants ayant la même origine (lot de production, modèle, composition) et de documenter les différents traitements subis en service.

BIBLIOGRAPHIE

1. Commission de la santé et de la sécurité du travail (2008), Dépôt de données central et régional (DDCR), Données de 2003 à 2005 mise à jour au 1er juillet de l'année x+3, Traitement des données par l'IRSST, 23 octobre 2008, Montréal, QC.
2. Mackenzie, K., & Peters, M. (2000). Handedness, Hand Roles, and Hand Injuries at Work. *Journal of Safety Research*, 31(4), 221-227.
3. Sorock, G.S., Lombardi, D.A., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F., & Mittleman, M.A. (2004). A case-crossover study of transient risk factors for occupational acute hand injury. *Occupational Environmental Medicine*, 61(4), 305-311.
4. Sorock, G.S., Lombardi, D.A., Peng, D.K., Hauser, R., Eisen, E.A., Herrick, R.F., & Mittleman, M. A. (2004). Glove use and the relative risk of acute hand injury: A case-crossover study. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(3), 182-190.
5. American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Test Method for Measuring Cut Resistance of Materials Used in Protective Clothing (Vol. ASTM F 1790-05): ASTM International.
6. ISO. (1999). Protective clothing - Mechanical properties - Determination of resistance to cutting by sharp objects: International Organization for Standardization.
7. American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Test Method for Protective Clothing Material Resistance to Puncture (Vol. ASTM F 1342-05): ASTM International.
8. Lara, J. (1992). Développement d'une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection. Études et recherches / No. R-059. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal.
9. Lara, J. (1995). La résistance des gants à la coupure - Développement d'une méthode d'essai. Études et recherches / No. No. R-103. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal.
10. Lipsky, J. (2004). 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*, 1er Avril 2004.
11. Tellier, C., Lara, J., & Daigle, R. (1999). La sélection et le développement de gants de protection contre les lacérations dans le secteur de la fabrication des produits en métal. Études et recherches / R-234. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal. 45p.
12. Bilodeau, F., & Bonneau, M. (2008). Les gants qui font des gagnants ! Auto Prévention, 22, 6.
13. bmpa. Health and safety guidance notes for the meat industry. British Meat Processors Association, London, UK.
14. Xu, W., & Que Hee, S. S. (2006). Permeation of a straight oil metalworking fluid through a disposable and a chemically protective nitrile glove. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 709-715.

15. Vu-Khanh, T., Nga Vu, T. B., Nguyen, C. T., & Lara, J. (2005). Gants de protection: Étude sur la résistance des gants aux agresseurs mécaniques multiples. Études et recherches / R-424. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal. 86p.
16. Vu Thi, B. N. (2004). Mécanique et mécanisme de la coupure des matériaux de protection. Université de Sherbrooke.
17. Nguyen, C. T., Vu-Khanh, T., & Lara, J. (2005). A study on the puncture resistance of rubber materials used in protective clothing. *Journal of ASTM International*, 2(4), 245-258.
18. Xu, W., & Que Hee, S. S. (2007). Permeation of a straight oil metalworking fluid through disposable nitrile, chloroprene, vinyl, and latex gloves. *Journal of Hazardous Materials*, 147(3), 923-929.
19. Xu, W. H., & Hee, S. S. Q. (2008). Swelling of four glove materials challenged by six metalworking fluids. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54(1), 1-8.
20. Forsberg, K., Olsson, K. G., & Carlmark, B. (1986). Testing of candidate glove materials against metal cutting fluids. In R. L. Barker & G. C. Coletta (Eds.), *Performance of protective clothing ASTM STP 900* (pp. 59-66). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
21. Ogorodnikova, G. F., & Sinitsyn, V. V. (1982). Mechanism of rubber swelling in oils and greases. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils* (English translation of Khimiya i Tekhnologiya Topliv i, 18(5-6), 306-308.
22. Lawandy, S. N., & Wassef, M. T. (1990). Penetration of oils into polychloroprene rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 40(3-4), 323-331.
23. Tasaka, M., Tamura, A., & Mori, R. (1999). Effect of several kinds of oils on the oil resistance behavior of polystyrene thermoplastic vulcanizate. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 18(6), 518-528.
24. Dunn, J. R. (1985). Performance limits of elastomers. *Kautschuk und Gummi Kunststoffe*, 38(7), 611-613.
25. Bertram, H. H., & Brandt, D. (1972). Influence of lubricating oil additives on swell-resistant elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, 45(5), 1224-1240.
26. Myntti, M. F. (2003). Comparing fuel and oil resistance properties. *Rubber World*, 228(3), 38-45.
27. Magryta, J., Debek, C., & Debek, D. (2006). Mechanical properties of swelled vulcanizates of polar diene elastomers. *Journal of Applied Polymer Science*, 99(5), 2010-2015.
28. Sarser, G. I., & Roter, E. A. (1986). 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*), 22(2), 201-204.

29. Stang, G., & Salomonsson, L. (2005). Rubber interactions with grease and base oil. *NLGI Spokesman*, 69(1), 20-34.
30. T. Vu-Khanh, P. Dolez, C. Gauvin, J. Lara, “Gants de protection contre les agresseurs mécaniques : caractérisation de la résistance à la coupure, à la perforation et à la déchirure des gants neufs – Production d’un guide de sélection” Projet IRSST 099-519.
31. Lara J., Gauvin C., Robinson D. (2009) Improvements to the ISO 13997 cut test method. Proceedings of the 4th European Conference on Protective Clothing (ECPC) and Nokobetef 9, Protective Clothing: performance and protection, Papendal, Arnhem, The Netherlands, June 10-12, 2009.
32. Comité Européen de Normalisation. (2003). Protective gloves against mechanical risks - EN 388.
33. Joonas M. (2004). Naphthenic oils a good solution for the rubber industry. *Naphthenics Magazine*, 2, 3p.
34. Vu-Khanh, T., Dolez, P., Harrabi, L.; Lara, J., Larivière, C., Tremblay, G. & Nadeau, S. (2007). Caractérisation de la souplesse des gants de protection par des méthodes mécaniques et biomécaniques. Études et recherches / R-506. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal. 90p.
35. Goldberg, A. J., Craig, R. G., & Filisko, F. E. (1980). Tear energy of elastomers for maxillofacial applications. *Journal of Oral Rehabilitation*, 7(6), 445-451.
36. Dolez P.I., Gauvin C., Lara J., Vu-Khanh J. (2010). Effect of exposure of protective gloves to industrial contaminants on their resistance to mechanical risks. *Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 16(2), 147-155.
37. Nguyen, C. T., Vu-Khanh, T., & Lara, J. (2004). Puncture characterization of rubber membranes. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 42(1), 25-33.