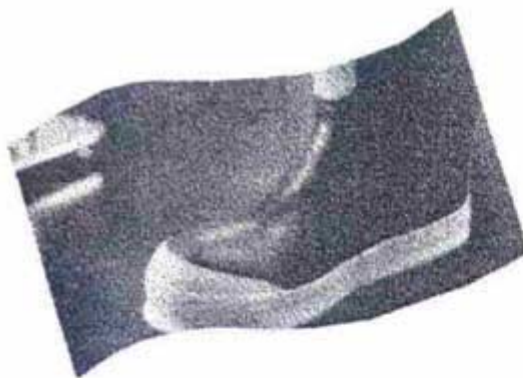


**Mise au point
de méthodes d'essai
pour évaluer la résistance
à la perforation et à la coupure
des chaussures de protection
utilisées pour la lutte
contre les incendies**



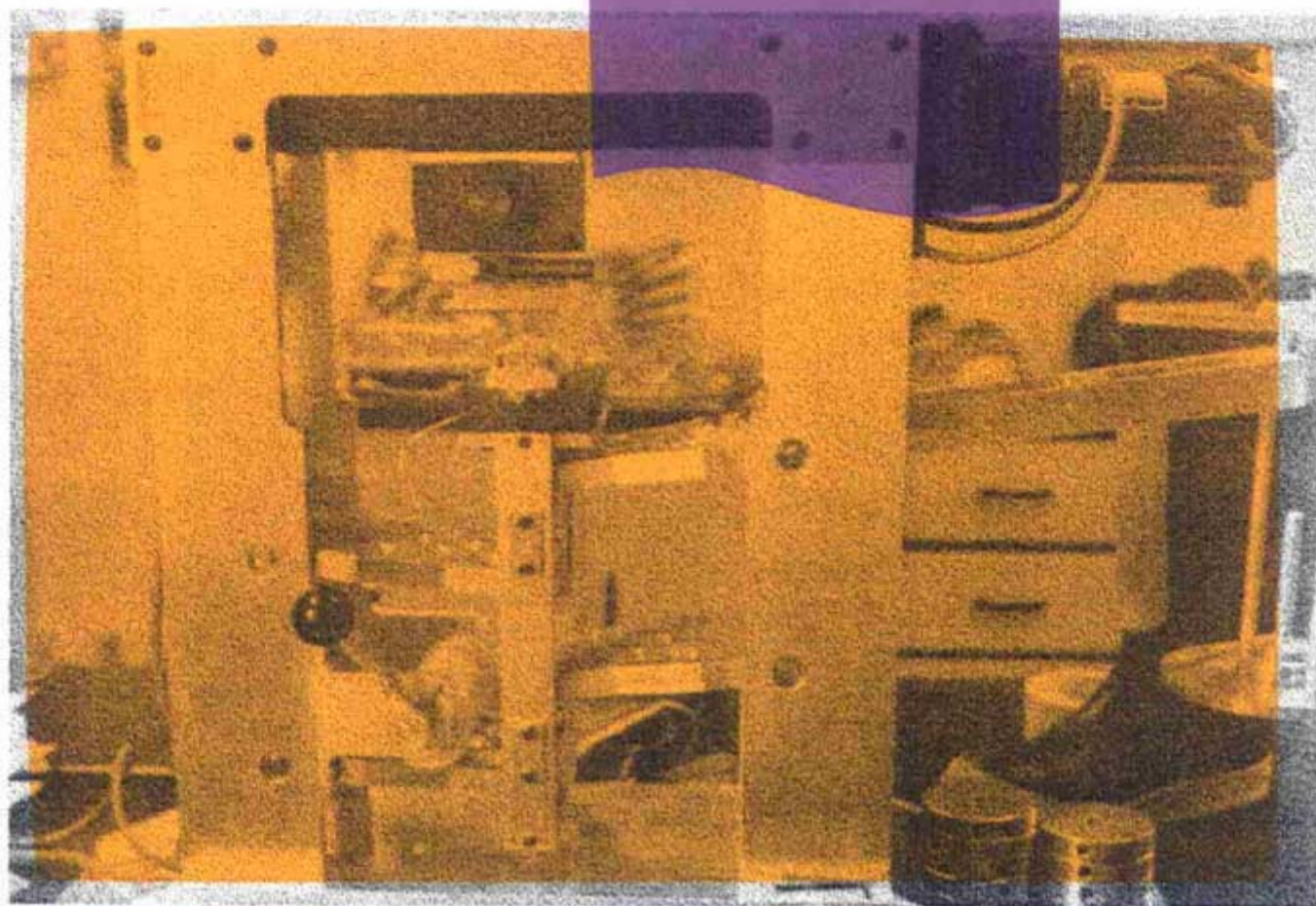
ÉTUDES ET RECHERCHES

Jaime Lara
Denis Turcot
Renaud Daigle
Serge Massé

Mai 2000

R-246

RAPPORT



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Mise au point
de méthodes d'essai
pour évaluer la résistance
à la perforation et à la coupure
des chaussures de protection
utilisées pour la lutte
contre les incendies**

Jaime Lara, Denis Turcot, Renaud Daigle et Serge Massé,
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

 Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

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

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

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION.....	1
2. PARTIE EXPÉRIMENTALE.....	5
2.1 LES MATÉRIAUX.....	5
2.1.1 <i>Matériau de référence...</i>	5
2.1.2 <i>Les chaussures de sécurité.....</i>	5
2.2 DESCRIPTION DES MÉTHODES D'ESSAIS	7
2.2.1 <i>Méthode d'essai pour évaluer la résistance à la perforation.....</i>	7
2.2.1.1 <i>La méthode pour évaluer la résistance à la perforation de l'ASTM.....</i>	7
2.2.1.2 <i>La méthode pour évaluer la résistance à la perforation de l'IRSST.....</i>	7
2.2.2 <i>La méthode de coupure.....</i>	8
2.2.2.1 <i>Description de la méthode.....</i>	8
2.2.2.2 <i>Description de l'appareil de coupure.....</i>	8
2.2.2.3 <i>Description du nouveau porte-échantillon.....</i>	9
2.2.2.4 <i>La dimension de l'échantillon.....</i>	10
2.2.2.5 <i>L'installation de l'échantillon.....</i>	11
2.2.2.6 <i>L'essai de coupure.....</i>	11
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	13
3.1 RÉSULTATS DES TESTS PRÉLIMINAIRES DE PERFORATION.....	13
3.2 RÉSULTATS DES TESTS DE PERFORATION ET DE COUPURE DES CHAUSSURES DE SÉCURITÉ	16
3.2.1 <i>Résistance à la perforation.....</i>	16
3.2.2 <i>Résistance à la coupure.....</i>	18
3.2.3 <i>Comparaison de la résistance à la perforation et résistance à la coupure.....</i>	18
4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	21
RÉFÉRENCES	23

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Schéma du banc d'essai pour évaluer la résistance à la coupure décrit dans la norme NFPA 1971.....	2
Figure 2 : Parties d'une chaussure de protection tel que décrit dans la norme BNQ P 1923	6
Figure 3 : Endroit de la prise d'échantillon à la tige et à l'empigne de la chaussure pour les tests de coupure et de perforation	6
Figure 4 : Banc d'essai pour évaluer la résistance à la coupure selon la norme ISO 13997	9
Figure 5 : Vue d'ensemble et représentation du porte-échantillon pour l'évaluation de la résistance à la coupure des chaussures de sécurité	12
Figure 6 : Représentation graphique des résultats de tests de perforation réalisés avec la pointe ASTM sur du Néoprène 1,57 mm d'épaisseur.....	14
Figure 7 : Représentation graphique des résultats de tests de perforation réalisés avec la pointe hémisphérique sur du Néoprène 1,57 mm d'épaisseur.....	15

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1 : Exemples des forces de friction mesurées lors des essais préliminaires de coupure sur des chaussures de sécurité	10
Tableau 2 : Essais de perforation réalisés avec la pointe conique de l'ASTM sur du Néoprène de 1,57 mm d'épaisseur.....	13
Tableau 3: Essais de perforation avec la pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre.....	14
Tableau 4 : Résumé des résultats de perforation en utilisant la pointe hémisphérique (IRSST) et des tests de coupure	18
Tableau 5 : Classification de la résistance à la coupure et à la perforation (pointe IRSST) de l'empigne et de la tige des chaussures de protection.....	19

1. INTRODUCTION

Le travail des pompiers comporte des risques d'accidents élevés. Conséquemment, les équipements de protection personnelle qu'ils utilisent doivent être suffisamment efficaces pour les protéger des risques variés.

Parmi les équipements de protection personnelle utilisés par les pompiers, se trouvent les chaussures de protection qui doivent protéger contre des agresseurs chimiques, être imperméables à l'eau et résistantes aux huiles ainsi qu'à l'essence. De plus, les chaussures doivent aussi protéger les pompiers contre les risques de piqûre et de coupure.

Les statistiques de la CSST démontrent que pour les années 1995-1998, les sapeurs pompiers ont été victimes de 297 accidents dont les sièges de lésion étaient les chevilles, les pieds ou les orteils. Ces accidents ont entraîné des déboursés d'environ 880 000 \$¹.

Les chaussures de sécurité de pompiers doivent conséquemment avoir des renforts à différents endroits pour protéger adéquatement les chevilles et les pieds. Les exigences minimales de rendement et de conception des chaussures de protection des pompiers étaient spécifiées dans la norme BNQ P 1923 (Bureau de normalisation du Québec) de l'année 1982².

Les pompiers de la province de Québec ont demandé au BNQ de réviser la norme P 1923. D'autre part, le BNQ avait reçu le mandat de développer une norme nationale sur les chaussures de protection utilisées pour la lutte contre les incendies³. Le document qui servait de base à la norme en préparation était celle du NFPA 1974 (National Fire Protection Association), édition 1992⁴. Cette norme établissait de nombreux tests pour évaluer la résistance des chaussures aux différents agresseurs. Parmi ces tests, ceux qui servent à évaluer la résistance des chaussures à la perforation et à la coupure présentent des problèmes.

Concernant la résistance à la coupure, la norme NFPA 1974 décrit un test dont le banc d'essai a des problèmes majeurs du point de vue du principe de la méthode ainsi que de la conception du montage. Le montage consiste à la partie supérieure, d'un bras de levier (les dimensions ne sont pas spécifiées dans la norme) dont une des extrémités est reliée à un point de pivot et l'autre extrémité contient à la partie supérieure, le support des poids et à la partie inférieure le support de la lame. À la base du montage se trouve le porte-échantillon. Le test consiste à faire glisser une lame à une vitesse de 50 mm/min sur une pièce d'échantillon. Lors d'un essai de coupure, un poids de 7,6 kg est appliqué sur la lame et le porte-échantillon est déplacé manuellement à une distance de 19 mm du point de départ. La coupure du matériau est vérifiée visuellement après le test. Nous pouvons signaler deux problèmes associés à cette méthode d'essai : 1) la distance entre le point de contact de la lame avec l'échantillon et le point de pivot du bras change pendant le test et conséquemment, la force appliquée change aussi ; cette question a été discutée dans un article que nous avons publié en 1997⁵ : 2) la méthode spécifie qu'une lame peut être réutilisée après une vérification visuelle de la dégradation du tranchant. Nous avons déjà démontré dans une étude précédente, qu'une lame se dégrade lors d'un test de coupure même avec des matériaux très

mous comme le caoutchouc Néoprène⁶. Nous avons donc conclu qu'une lame ne peut pas être réutilisée. La méthode NFPA est donc peu précise et les résultats ne sont pas reproductibles, comme il a été démontré par des tests interlaboratoires du comité F-23 de l'ASTM (données non publiées). Pour cette raison, l'ASTM a décidé de ne pas accepter cette méthode d'essai à la fin des années 70.

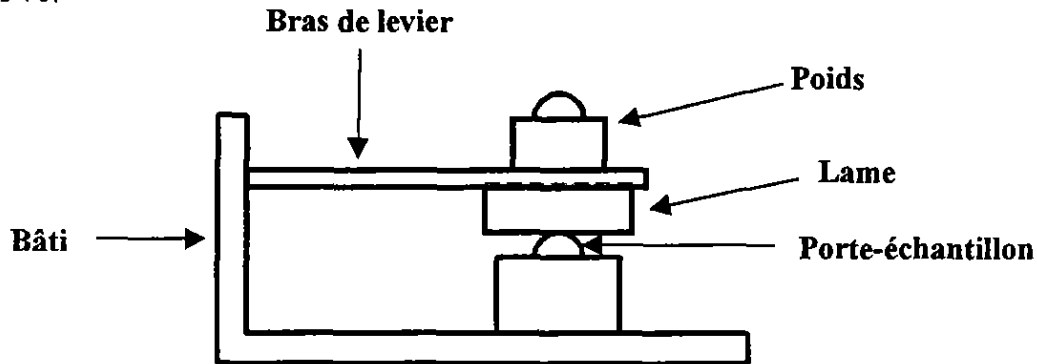


Figure 1 : Schéma du banc d'essai pour évaluer la résistance à la coupure décrit dans la norme NFPA 1971

Concernant la méthode de perforation, le test décrit dans la norme NFPA est celui de la norme ASTM F 1342⁷. L'extrémité de la pointe décrite dans cette norme est mal définie, conséquemment, la géométrie est difficile à reproduire et les résultats obtenus sont également peu reproductibles⁸.

Le comité de normalisation CAN/BNQ a trouvé que les méthodes d'essai développées à l'IRSST pour évaluer la résistance des gants de protection à la perforation⁸ et à la coupure^{5,6} étaient particulièrement intéressantes et pourraient être utilisées pour caractériser la résistance des chaussures de sécurité. Il a été démontré que ces méthodes sont fiables et que les résultats sont reproductibles. Le comité de normalisation composé des pompiers du Québec et d'autres provinces au Canada ainsi que des fabricants de chaussures de sécurité, a mandaté le BNQ pour adresser une demande à l'IRSST afin d'adapter ces méthodes à l'évaluation des chaussures de protection.

D'autre part, l'Association paritaire, secteur affaires municipales, a procédé à l'analyse de la problématique de la santé et de la sécurité du travail chez les pompiers (juin 1994). Parmi les axes de recherche identifiés par l'APSAM, il a été indiqué que les équipements mis à la disposition des pompiers protégeaient mal les chevilles et qu'il y aurait lieu d'assurer une meilleure protection.

L'objectif de cette étude est d'adapter les méthodes pour évaluer la résistance de gants à la perforation et à la coupure, ainsi qu'à l'évaluation des chaussures de protection des pompiers. Les résultats de cette étude pourront être utilisés par les comités de normalisation pour fixer les exigences minimales que devront rencontrer les chaussures de protection des pompiers. Ces

informations et les méthodes d'essai pourront éventuellement aussi faire partie des normes pour les vêtements de protection des pompiers.

2. PARTIE EXPÉRIMENTALE

2.1 LES MATÉRIAUX

2.1.1 Matériau de référence

Du Néoprène 1,5 mm d'épaisseur de la compagnie Fairprene⁹ a été utilisé comme matériau de référence pour les tests de perforation et de coupure. Ce matériau est déjà utilisé comme matériau de référence dans la norme ISO 13997 pour la coupure¹⁰.

2.1.2 Les chaussures de sécurité

Les chaussures de sécurité ont été collectées par le BNQ directement auprès des fabricants. Pour des raisons de confidentialité et suite à une entente entre le BNQ et les fabricants, les résultats seront présentés par des lettres dans le cas de fabricant (de A à E) et par des numéros, dans le cas des modèles de chaussures.

Description des chaussures de sécurité : les chaussures de sécurité utilisées par les pompiers sont composées de sections dont les renforts sont différents entre les sections d'un même modèle de chaussure. De plus, les renforts utilisés par divers fabricants peuvent aussi être différents. Par exemple, dans la plupart des chaussures, l'embout est en acier recouvert de caoutchouc à l'extérieur et doublé de tissu ou de mousse à l'intérieur, alors que le talon peut être composé de deux, trois ou quatre couches de matériaux en plastique ou en caoutchouc. À la figure 2, nous présentons un schéma d'une chaussure de sécurité de pompiers avec l'identification des différentes sections, tel que décrit dans la norme BNQ P 1923.

La prise d'échantillons : étant donné que dans certains modèles de bottes nous retrouvions cinq sections différentes ou plus, il a été entendu avec les membres du comité de normalisation que les tests devaient être réalisés seulement dans les deux sections identifiées à la figure 3. Un échantillon a donc été pris dans la partie supérieure de la partie cylindrique de la botte (tige) et un autre échantillon dans l'empaigne. De plus, il a été décidé par le comité de normalisation que les tests devaient être réalisés sur la partie la plus faible de la section de la chaussure sélectionnée (e.g., la partie ayant moins de renforts ou la partie la plus mince de la tige ou de l'empaigne). Les dimensions de l'échantillon ont été fixées à 10 cm de long et 2,5 cm de large.



Figure 2 : Parties d'une chaussure de protection tel que décrit dans la norme BNQ P 1923

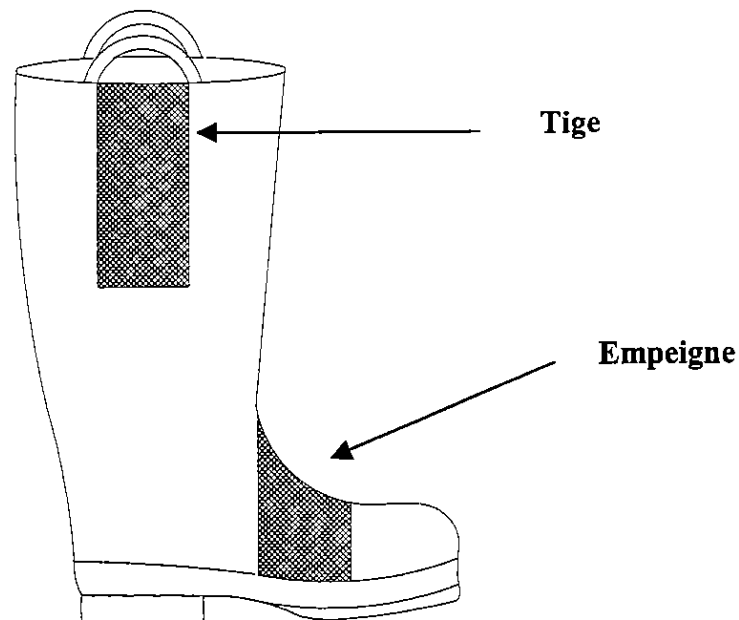


Figure 3 : Endroit de la prise d'échantillon à la tige et à l'empeigne de la chaussure pour les tests de coupure et de perforation

2.2 DESCRIPTION DES MÉTHODES D'ESSAIS

2.2.1 Méthode d'essai pour évaluer la résistance à la perforation

La méthode d'essai pour évaluer la résistance à la perforation consiste à mesurer la force nécessaire pour percer un matériau avec une pointe ayant des dimensions et une géométrie bien déterminées. Dans cette section, nous décrirons deux méthodes : la méthode de la norme ASTM F 1342⁷ et la méthode développée à l'IRSST⁸.

2.2.1.1 La méthode pour évaluer la résistance à la perforation de l'ASTM

La norme NFPA 1974⁴ fait référence à la méthode d'essai pour évaluer la résistance à la perforation de la norme ASTM F 1342. Ce test consiste à mesurer la force maximale nécessaire pour percer un matériau avec une pointe qui se déplace à une vitesse de 50,8 cm/min dont l'extrémité a une forme conique. Lors d'une étude précédente faite à l'IRSST⁸, il a été démontré que la géométrie conique de l'extrémité de la pointe décrite dans la norme ASTM est difficile à reproduire et que de plus, elle se dégrade lors des essais. De ce fait, les résultats ne sont pas reproductibles. Un autre problème qui empêche l'obtention de résultats reproductibles en utilisant ce type de pointe, est que la forme de l'extrémité de la pointe n'est pas bien spécifiée dans la norme. Nous avons fait une interprétation de ce qu'aurait dû être la forme de l'extrémité de la pointe lors de l'étude que nous avons faite précédemment. Nous nous sommes basés sur des informations trouvées dans un rapport de NIOSH¹¹ qui a servi de base à la préparation de la norme ASTM. La pointe est constituée d'une tige de 2 mm de diamètre dont l'extrémité est de forme conique avec un angle total de 26°. L'extrémité de la pointe est arrondie avec un diamètre de 0,25 mm.

2.2.1.2 La méthode pour évaluer la résistance à la perforation de l'IRSST

Dans une étude précédente⁸, nous avons caractérisé les divers paramètres qui affectent la réalisation d'un test de perforation (géométrie de la pointe, vitesse de déplacement, diamètre de la pointe). Comme résultat de cette étude, nous avons fait des recommandations pour la réalisation d'un test de perforation. La méthode recommandée par l'IRSST, fait appel à une pointe dont le diamètre de la tige est de 1 mm, avec une extrémité hémisphérique de 1 mm de diamètre qui se déplace à une vitesse de 100 mm/min. La géométrie de la pointe est facile à reproduire et les résultats sont très fiables. Cette méthode d'essai a été adoptée par le Comité européen de normalisation (CEN) et fait partie de la norme EN 388 (Protective gloves, mechanical tests and specification). Également, le comité F-23 de l'ASTM a décidé récemment d'adopter cette méthode pour une nouvelle proposition de la norme F-1342.

Dans cette étude, nous avons réalisé des essais préliminaires avec les pointes de la norme ASTM et de l'IRSST avec un matériau de référence, le Néoprène de 1,57 mm d'épaisseur. Les résultats de ces essais sont rapportés à la section 3.1. Cependant, pour évaluer la résistance à la

perforation de chaussures de sécurité, nous avons utilisé la pointe hémisphérique et les conditions expérimentales ci-haut mentionnées.

2.2.2 La méthode de coupure

2.2.2.1 Description de la méthode

La méthode de coupure développée à l'IRSST^{5,6}, consiste à faire glisser une lame sur un matériau à une vitesse de 150 mm/min avec une charge appliquée sur l'échantillon et à mesurer la distance parcourue par la lame pour provoquer la coupure. Dans l'étude de l'IRSST, il a été démontré que la distance parcourue par la lame varie d'une façon exponentielle décroissante avec la charge appliquée. Pour évaluer la résistance d'un matériau à la coupure, il est nécessaire d'effectuer des séries d'essais avec au moins trois charges différentes. Le calcul de la résistance à la coupure se fait par régression non linéaire de la force nécessaire pour provoquer la coupure du matériau et de la distance de parcours de la lame. La force nécessaire pour couper le matériau à une distance fixe (e.g., 20 mm) peut être ainsi calculée.

Les résultats de cette recherche ont été présentés au Symposium international sur les vêtements de protection de l'ASTM¹². Depuis, des comités de normalisation internationaux, notamment ASTM et ISO, ont formé des groupes de travail pour normaliser cette méthode d'essai. Comme résultat de ces travaux, ISO a préparé la norme 13997. De la même façon, le comité F-23 de l'ASTM qui dans un premier temps avait adopté une norme d'essai basée sur le principe de la méthode développée à l'IRSST mais en utilisant un appareil fabriqué aux États-Unis, a décidé de réécrire la norme pour l'adapter à la norme ISO.

2.2.2.2 Description de l'appareil de coupure

Dans une étude précédente, l'appareil représenté à la figure 4 a été mis au point par l'IRSST pour servir à la normalisation⁵. Dans un premier temps, l'appareil avait été conçu pour évaluer la résistance à la coupure des gants de protection. Cependant, suite aux travaux réalisés par les membres du comité ISO/TC 94/SC 13/W 5 sur les vêtements de protection, il a été décidé que l'appareil et la méthode d'essai seraient utilisables pour évaluer la résistance à la coupure de tout matériau (non métallique) utilisé pour la fabrication des vêtements de protection.

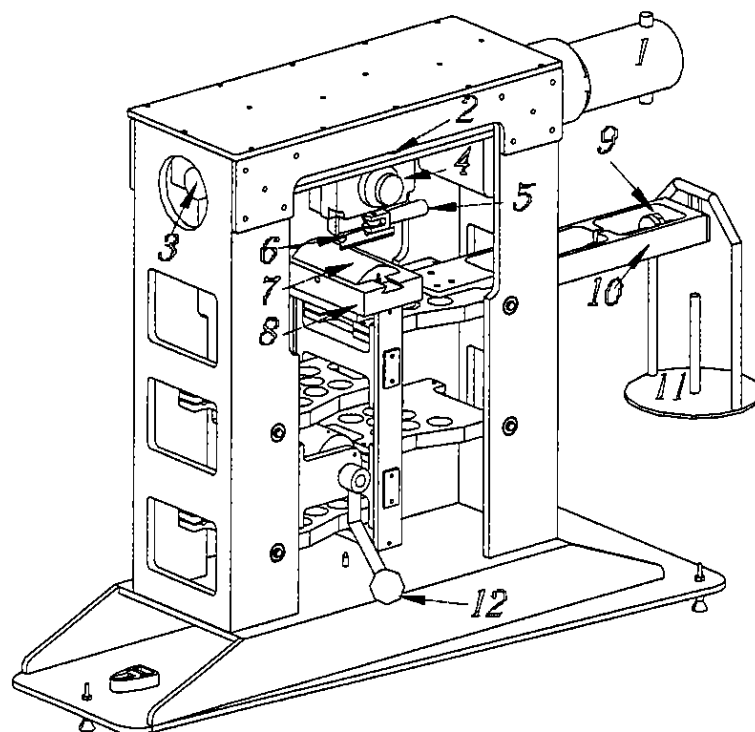


Figure 4 : Banc d'essai pour évaluer la résistance à la coupure selon la norme ISO 13997

Le banc d'essai montré à la figure 4 est composé à la partie inférieure, d'un système de levier (10) ayant à une extrémité un porte-échantillon (7) et à l'autre extrémité un plateau (11) pour installer les poids. À la partie supérieure se trouve la lame (6) qui se déplace horizontalement, entraînée par un moteur (1). Le mouvement décrit par le porte-échantillon doit être parfaitement vertical. Pour s'assurer que ce mouvement est parfait, entre - 1cm et + 1 cm par rapport au point d'équilibre, un double système de Watts a été conçu. Les détails de conception du banc d'essai ont été publiés précédemment⁵. Le rapport de la distance entre le plateau et le point de pivot, et entre le porte-échantillon et le pivot est de 2:1. Ainsi, lorsqu'on installe un poids sur le plateau, la force résultante au point de contact entre la lame et l'échantillon est deux fois plus élevée. L'appareil a été conçu pour supporter des charges pouvant atteindre 100 newtons, valeurs pouvant être retrouvées avec les matériaux des chaussures de sécurité des pompiers. Cependant, le porte-échantillon de la norme ISO 13997 n'a pas été conçu pour des matériaux épais. Conséquemment, il était nécessaire de mettre au point un nouveau porte-échantillon.

2.2.2.3 Description du nouveau porte-échantillon

Essais préliminaires : des essais préliminaires sur des échantillons de chaussures de pompiers ont été réalisés avec le banc d'essai instrumenté pour la coupure mis au point lors d'une étude précédente⁶. Ces essais ont été réalisés afin d'établir les critères que devrait rencontrer le nouveau porte-échantillon en fonction des propriétés des matériaux à évaluer. L'appareil utilisé permet de

mesurer avec précision la force normale appliquée au point de contact de la lame avec l'échantillon ainsi que la force de friction qui se développe lorsque la lame glisse et pénètre le matériau pendant le test. Ces essais ont permis de constater que la force de friction développée entre la lame et la pièce d'une chaussure de sécurité lors d'un test de coupure pouvait être plusieurs fois plus élevée que la force normale appliquée. Le tableau 1 montre quelques exemples de résultats obtenus lors des essais préliminaires de coupure.

Tableau 1 : Exemples des forces de friction mesurées lors des essais préliminaires de coupure sur des chaussures de sécurité

Échantillon	Section	Force normale (grammes)	Force de friction (grammes)
a	Empeigne	1 700	4 548
	Tige	1 500	3 867
b	Empeigne	1 200	4 508
	Tige	1 200	4 296
c	Empeigne	1 600	4 398
	Tige	1 000	3 786
d	Tige	1 000	2 918
e	Tige	1 800	3 735

L'identification des échantillons au tableau 1 ne correspond pas à celle des chaussures présentées au tableau 4. Les résultats du tableau démontrent que dans tous ces cas, le maximum de la force de friction développée lors du test est jusqu'à trois fois plus élevée que la force normale appliquée. Ceci a été considéré lors de la mise au point du nouveau porte-échantillon.

Description du porte-échantillon : le porte-échantillon devrait permettre de fixer des matériaux épais et ayant un coefficient de friction très élevé. La figure 5 est une représentation du porte-échantillon modifié mis au point dans cette étude. La courbure du porte-échantillon est la même que celle décrite dans la norme ISO 13997 (rayon de 38 mm). De plus, le porte-échantillon a été conçu pour permettre de fixer le matériau à l'aide des colliers de serrage. Les colliers sont installés à l'aide d'un instrument de marque Panduit, modèle GS2B, qui permet d'ajuster la pression à laquelle les colliers sont serrés. Pour serrer l'échantillon, nous avons ajusté la tension de l'appareil à son maximum. De plus, des vis de pression à six pans creux (sans tête, hexagonales) dont la hauteur pouvait être ajustée selon l'épaisseur du matériau, ont été installées dans un des bords du porte-échantillon (dans la direction du déplacement de la lame) pour bloquer le déplacement de l'échantillon, tel que montré à la figure 5.

2.2.2.4 La dimension de l'échantillon

La première question à résoudre était celle de la dimension de l'échantillon. Étant donné que l'épaisseur du matériel entre les différentes sections de la chaussure était très variable, il a été décidé de fixer la dimension de l'échantillon à une largeur de 2,5 cm et à une longueur de 10 cm.

2.2.2.5 L'installation de l'échantillon

L'échantillon est installé sur le porte-échantillon à l'aide d'un ruban ayant les deux surfaces collantes. Le ruban contiendra à la partie centrale une feuille d'aluminium de 1 cm de largeur. Le ruban doit être d'une longueur suffisante pour assurer un bon contact électrique entre la feuille d'aluminium et le corps du porte-échantillon. C'est le contact électrique entre la lame et la feuille d'aluminium qui servira à détecter la coupure de l'échantillon et à arrêter le test. L'échantillon est fixé avec les colliers de serrage tel que déjà décrit.

2.2.2.6 L'essai de coupure

Tel qu'établi dans la norme ISO 13997, des séries d'essais avec différentes charges doivent être réalisés, soit un minimum de trois. Cependant, dans le cas des chaussures de sécurité, nous avons constaté que l'épaisseur des matériaux n'était pas uniforme. La norme ISO ayant été développée pour des matériaux dont l'épaisseur est uniforme, n'est pas applicable aux chaussures de sécurité. Pour cette raison, nous proposons une modification à la méthode d'essai, consistant dans la réalisation d'essais en utilisant seulement deux charges différentes. Ainsi, la résistance à la coupure pourra être calculée par l'interpolation des valeurs obtenues dans ces deux séries d'essais. Par exemple, une série de cinq essais seront faits avec une charge pour obtenir une coupure du matériau avec un déplacement de la lame >20 mm et une autre série de cinq essais avec une charge pour obtenir une coupure avec un déplacement de la lame <20 mm. La résistance à la coupure sera donc calculée par interpolation comme la force nécessaire pour couper le matériau avec un déplacement de la lame de 20 mm. Cependant, il a été nécessaire de réaliser des essais préliminaires pour choisir les poids qui seront utilisés pour obtenir les résultats désirés.

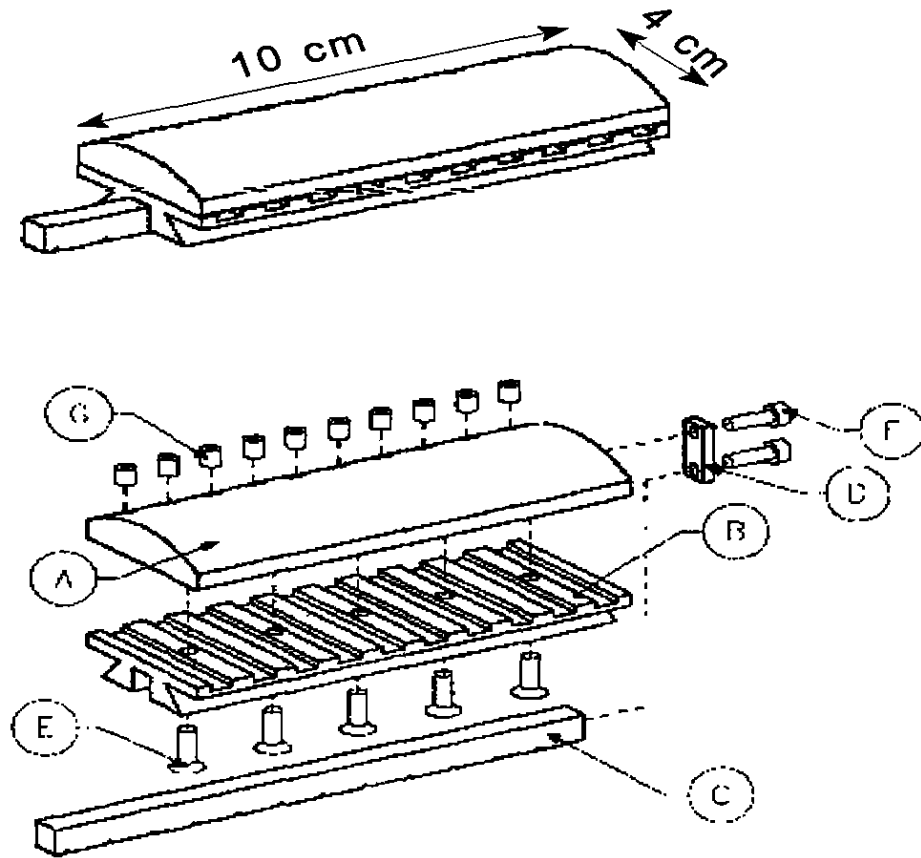


Figure 5 : Vue d'ensemble et représentation du porte-échantillon pour l'évaluation de la résistance à la coupure des chaussures de sécurité

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS DES TESTS PRÉLIMINAIRES DE PERFORATION

La reproductibilité des résultats obtenus avec des pointes différentes mais ayant la même géométrie, a été vérifiée pour les pointes ASTM et IRSST. Pour ce faire, nous avons fait fabriquer cinq pointes coniques selon la norme ASTM et quatre pointes hémisphériques, selon la recommandation de l'IRSST. Les essais ont été réalisés sur le Néoprène de référence. L'appareil utilisé est de type Instron travaillant en compression, qui a été modifié par la compagnie MTS¹³. Le capteur de force utilisé a une plage de mesure effective de 0 à 200 lb \pm 0.01 % (modèle 200LBF), série 298, de la compagnie Instron. La procédure expérimentale utilisée est la même que décrite précédemment⁸. Les essais ont été répétés au moins dix fois. La valeur rapportée est la force maximale atteinte au moment de la perforation du matériel. Les résultats des essais de perforation sont présentés aux tableaux 2 et 3 et aux figures 6 et 7.

Tableau 2 : Essais de perforation réalisés avec la pointe conique de l'ASTM sur du Néoprène de 1,57 mm d'épaisseur

Pointe N°	Nombre d'essais	Force moyenne (N)	Écart type	C.V. (%)
1	10	33,8	0,9	2,8
2	10	23,2	0,9	3,9
3	10	29,7	1,3	4,3
4	10	31,5	1,6	5,2
5	10	37,5	1,2	3,2
Force moyenne générale		31,1		
Écart type général		4,9		
C.V. général (%)		15,8		

Le tableau 2 présente les résultats des tests de perforation faits avec les cinq pointes ASTM sur le Néoprène de Fairprene de 1,57 mm d'épaisseur. Avec ces données, nous avons effectué une analyse de variance à un critère de classification (one way ANOVA) à l'aide d'un logiciel SigmaStat[®], version 2.0, afin de comparer les groupes de résultats obtenus avec les différentes pointes. Cette analyse nous permettra d'établir si la différence entre les groupes de résultats est statistiquement significative.

L'analyse de variance démontre que les différences entre les groupes de résultats sont statistiquement significatives. Nous pouvons considérer l'ensemble des résultats toutes pointes confondues, comme provenant de la même population puisque les tests ont été réalisés sur le même matériau. Dans ces conditions, l'écart type général calculé est de 4,9 et le C.V. général de 15,8 %. Puisque le matériau évalué est un Néoprène dont la composition et l'épaisseur sont homogènes, les différences de résultats obtenus proviennent nécessairement des différences dans la géométrie de la pointe, ce qui démontre la difficulté à reproduire la pointe de l'ASTM.

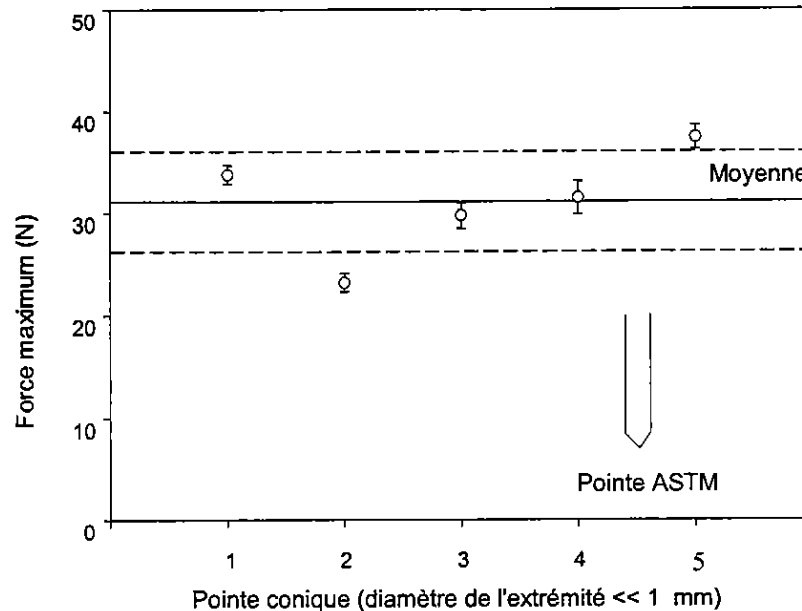


Figure 6 : Représentation graphique des résultats de tests de perforation réalisés avec la pointe ASTM sur du Néoprène 1,57 mm d'épaisseur

Le tableau 3 présente les résultats obtenus avec les points hémisphériques de 1-mm de diamètre. L'analyse ANOVA a démontré que la différence entre les groupes de données obtenues avec les différentes pointes est statistiquement significative. Cependant, le traitement des données sur l'ensemble des résultats, toutes pointes confondues, démontre que l'écart type général est de 1,5 et le C.V. général est de 5,0 %, ce qui est beaucoup plus faible que les valeurs obtenues avec la pointe ASTM.

Tableau 3: Essais de perforation avec la pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre avec du Néoprène de 1,57 mm d'épaisseur

Pointe N°	Nombre d'essais	Force moyenne (N)	Écart type	C.V. (%)
6	30	30,4	1,0	3,2
7	10	28,5	1,4	4,9
8	10	32,2	1,3	4,0
9	10	30,7	1,0	3,3
Force moyenne générale		30,4		
Écart type général		1,5		
C.V. général (%)		5,0		

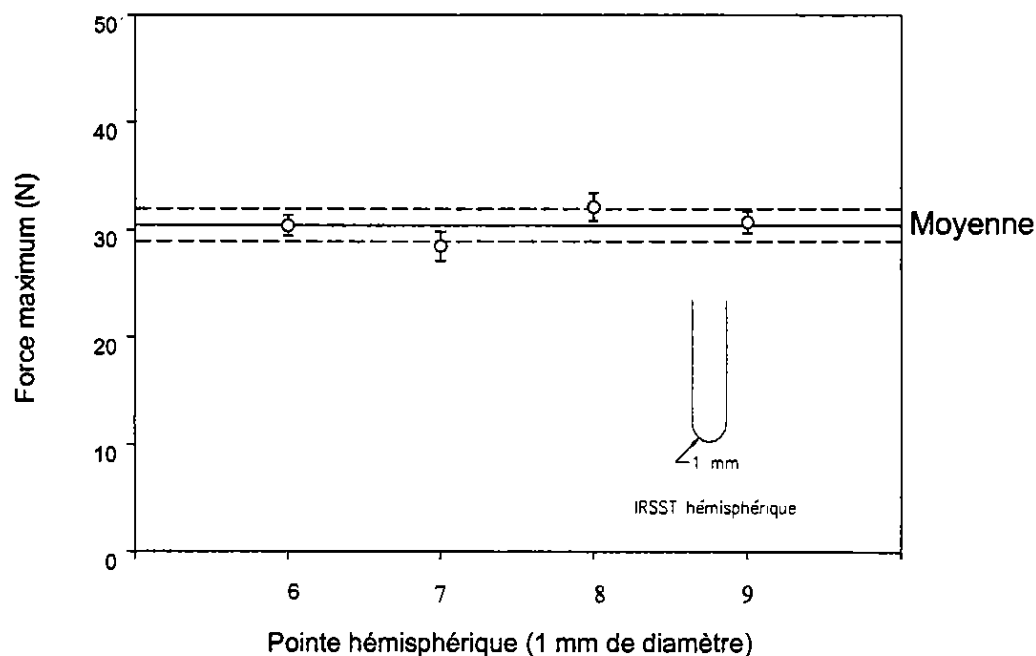


Figure 7 : Représentation graphique des résultats de tests de perforation réalisés avec la pointe hémisphérique sur du Néoprène 1,57 mm d'épaisseur

En ce qui concerne la répétabilité, les résultats des tests faits avec une même pointe sont très bons pour les deux types de pointes et le coefficient de variation est toujours inférieur à 5,2 %. Cependant, la reproductibilité des résultats obtenus avec les différentes pointes est mauvaise pour la pointe ASTM et bonne pour la pointe de l'IRSST. En effet avec la pointe ASTM, la valeur maximale est de 37,5 newtons avec la pointe N° 5 et la valeur minimale de 23,2 newtons obtenue avec la pointe N° 2. Dans le cas de la pointe IRSST, la valeur maximale est de 32,2 newtons qui a été obtenue avec la pointe N° 8 et le minimum est de 28,5 newtons qui a été obtenu avec la pointe N° 7.

Les tests préliminaires de perforation confirment les résultats de l'étude réalisée précédemment à l'IRSST. La pointe décrite dans la norme ASTM' F 1342 est difficile à reproduire, ce qui est la cause de la difficulté à obtenir des résultats reproductibles entre les différentes pointes fabriquées. Ce constat ayant déjà été fait au niveau du comité F 23 de l'ASTM sur les vêtements de protection, une révision approfondie de cette méthode a été décidée.

3.2 RÉSULTATS DES TESTS DE PERFORATION ET DE COUPURE DES CHAUSSURES DE SÉCURITÉ

L'ensemble des résultats sur la résistance des chaussures de sécurité à la perforation et à la coupure sont présentés au tableau 4. Tel que nous l'avons mentionné auparavant, les fabricants sont identifiés par une lettre et le modèle de la chaussure de protection est représenté par un numéro. Ces chaussures représentent l'ensemble des produits fabriqués et utilisés par les pompiers en Amérique du Nord.

3.2.1 Résistance à la perforation

Pour évaluer la résistance des chaussures de sécurité à la perforation, nous avons choisi la pointe hémisphérique numéro 6 (tableau 3) parce que les résultats obtenus avec cette pointe se rapprochent de la valeur moyenne obtenue avec l'ensemble des pointes ayant la même géométrie, lors des tests sur le Néoprène de référence.

En ce qui concerne l'utilisation de la pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre, nous avons pu constater qu'elle se prête très bien à l'évaluation des matériaux utilisés pour la fabrication des chaussures de sécurité. Aucun besoin de modifier la méthode d'essai ou la forme de la pointe n'a été décelé.

L'analyse des résultats présentés au tableau 4 démontre que pour plusieurs chaussures (six cas sur dix) la résistance à la perforation de la partie cylindrique des chaussures (tige) est plus élevée que celle de l'empeigne. En particulier, dans le cas des chaussures de la compagnie identifiée par la lettre C, nous pouvons voir que pour toutes les chaussures (numéros 4 à 7), la résistance à la perforation de la tige est plus élevée que celle de l'empeigne. Ceci est important à considérer, car lors des discussions avec les membres du comité de normalisation, il a été signalé que le risque de lésion était plus élevé au niveau des pieds qu'aux jambes.

Nous pouvons voir au tableau 4 que la résistance à la perforation varie entre 27,7 newtons et 48,4 newtons pour l'empeigne et entre 27,7 newtons et 52,6 newtons pour la tige. Il serait donc possible de classer la résistance à la perforation des chaussures en plusieurs niveaux de performance. Cependant, cette classification ne serait valable que pour une section de la chaussure et non pas pour l'ensemble de la chaussure. En ce qui concerne la répétabilité des résultats obtenus pour un même matériel, le tableau 4 montre que dans certains cas le coefficient de variation est très élevé. Nous citerons par exemple les résultats obtenus pour la tige de la chaussure N° 9 dont le C.V. est de 29,1 %. Ceci peut être attribué à la très grande variabilité dans l'épaisseur des matériaux, comme il a déjà été mentionné.

Tableau 4 : Résumé des résultats de perforation en utilisant la pointe hémisphérique (IRSST) et des tests de coupe en utilisant la méthode de la norme ISO 13997 modifiée

Compagnie	Modèle de botte N°	Résistance à la coupe (grammes)		Résistance à la perforation (N)	
		Empeigne (C.V.%)	Tige (C.V.%)	Empeigne (C.V.%)	Tige (C.V.%)
A	1	1617 (11,7)	2217 (7,3)	35,7 (8,8)	28,8 (8,9)
	2	2463 (5,5)	1943 (8,1)	27,7 (6,1)	48,4 (9,8)
	3	1945 (6,6)	1475 (21,5)	45,0 (5,3)	40,1 (8,5)
C	4	1690 (16,5)	1482 (9,6)	31,3 (7,0)	42,6 (16,7)
	5	1640 (11,0)	1538 (11,5)	38,5 (14,4)	52,6 (7,0)
	6	1480 (10,6)	1347 (7,2)	39,4 (17,0)	47,6 (11,7)
	7	1540 (6,2)	1537 (7,3)	42,8 (7,8)	52,4 (7,8)
D	8	1702 (13,0)	1194 (12,4)	31,9 (8,2)	27,7 (9,4)
E	9	1383 (11,3)	1953 (10,0)	48,4 (9,1)	37,2 (29,1)
	10	6376 (13,3)	1171 (6,1)	29,8 (8,3)	34,6 (18,9)

Note : les épaisseurs des matériaux sont très inégales et dans certains cas, très difficiles à mesurer. À titre d'information, nous présentons quelques exemples : les épaisseurs mesurées pour la partie de la tige varient de 2,9 mm (chaussure N° 6) à 8 mm (chaussure N° 3) et pour la partie de l'empeigne, l'épaisseur varie entre 3 mm (chaussure N° 7) et 5,1 mm (chaussure N° 2).

3.2.2 Résistance à la coupure

Les résultats des tests de coupure se trouvant au tableau 4, sont des valeurs calculées de la charge (en grammes) à être appliquées au point de contact entre la lame et l'échantillon pour provoquer la coupure du matériau avec un déplacement de la lame de 20 mm. Les valeurs de résistance à la coupure se situent entre 1 171 grammes pour la tige de la chaussure N° 10 et 6 376 grammes pour l'empaigne de la même chaussure. En d'autres mots, les deux sections de la même chaussure sont en même temps les plus résistantes et les moins résistantes à la coupure de toutes les chaussures évaluées. Ceci est en accord avec ce que nous avons déjà mentionné pour la résistance à la perforation, il n'y a pas de cohérence entre la performance des deux sections de la chaussure. Pour la plupart des chaussures, la résistance à la coupure de l'empaigne est plus élevée que la tige avec une seule exception qui est la chaussure N° 9.

Une autre information intéressante qu'on peut tirer des résultats présentés au tableau 4, est que la résistance à la coupure de la plupart des matériaux se situe entre environ 1 450 et 2 000 grammes (13 sur 20), ce qui pourrait être défini comme une résistance à la coupure moyenne. D'autres matériaux se situent environ entre 1 170 et 1 450 grammes (4 sur 20) pouvant être définis comme de faible résistance à la coupure. Finalement, des matériaux (3 sur 20) se trouvant entre environ 2 000 et 6 400 grammes ont une résistance à la coupure élevée. Ces informations pourront être considérées par les comités de normalisation pour fixer les performances minimales que devront rencontrer les chaussures de sécurité.

3.2.3 Comparaison de la résistance à la perforation et résistance à la coupure

Au tableau 5, nous comparons la classification de la résistance à la coupure et la perforation (selon la pointe IRSST) pour chacune des sections de la chaussure. Il est intéressant de constater dans ce tableau, que les chaussures dont l'empaigne est la plus résistante à la coupure (les chaussures n^{os} 10 et 2) sont en même temps les chaussures dont l'empaigne est la moins résistante à la perforation (se classent 9^e et 10^e respectivement). Ce même constat peut être fait avec la chaussure N° 1 dans le cas de la tige. Ce type de comportement avait déjà été observé précédemment⁶ lors de l'étude faite à l'IRSST sur les gants de protection.

Tableau 5 : Classification de la résistance à la coupure et à la perforation (pointe IRSST) de l'empeigne et de la tige des chaussures de protection

Classification	N° de chaussure (empeigne)		N° de chaussure (tige)	
	Coupure	Perforation	Coupure	Perforation
1	10	9	1	5
2	2	3	9	7
3	3	7	2	4
4	8	6	5	2
5	4	5	7	6
6	5	1	4	3
7	1	8	3	9
8	7	4	6	10
9	6	10	8	1
10	9	2	10	8

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats de cette étude ont permis d'adapter les méthodes d'essai développées à l'IRSST pour évaluer la résistance à la perforation et à la coupure des gants de protection à l'évaluation des chaussures de protection pour la lutte contre les incendies. Les résultats pourront être considérés par les comités de normalisation pour établir les méthodes d'essai et les performances minimales des chaussures de protection. Ces informations obtenues dans cette étude ont été transmises au comité de normalisation du BNQ.

En ce qui concerne la performance des chaussures par rapport à la perforation, cette étude a démontré que dans plusieurs cas (6 bottes sur 10) la résistance de la section de la tige est plus élevée que celle de l'empeigne. Ceci va à l'encontre des informations fournies par les pompiers membres du comité CAN/BNQ à l'effet que le risque de lésion serait plus élevé au niveau du pied qu'au niveau des jambes. De plus, il a été démontré qu'en général les matériaux résistants à la coupure ne sont pas nécessairement résistants à la perforation et vice versa. Pour ces raisons, il est difficile de faire une classification de la performance des chaussures par rapport aux risques mécaniques (perforation et coupure). Le niveau de performance ne peut être établi que pour un type de risque (perforation ou coupure) et pour une des sections évaluées (la tige ou l'empeigne). Ces informations devront être considérées par les fabricants des chaussures pour améliorer le niveau de protection de leurs produits.

Au cours de cette étude, le comité de normalisation du CAN/BNQ a décidé d'abandonner la norme canadienne et de s'aligner sur la norme NFPA 1974. Cette norme établit que le test pour évaluer la résistance à la coupure est celui qui a été rejeté par l'ASTM parce que non valable. Nous avons proposé une version modifiée de la méthode d'essai de la norme ISO 13997 et ces informations ont déjà été présentées au comité F-23 de l'ASTM afin qu'elle soit considérée aux fins de normalisation. En ce qui concerne le test de perforation, le comité F-23 de l'ASTM a décidé de le modifier et d'adopter la méthode d'essai proposée par l'IRSST dans une étude précédente. Ceci entraînera nécessairement la révision de la méthode de perforation de la norme NFPA.

Nous recommandons donc de publier et de diffuser les résultats de cette étude au niveau international pour les faire connaître. Ceci favorisera l'adoption de ces méthodes d'essai par les comités de normalisation. C'est la stratégie que nous avons utilisée auparavant et qui s'est avérée être efficace.

RÉFÉRENCES

- ¹ Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. Fichier sur les lésions professionnelles mis à jour en mai 1999. Montréal, Québec.
- ² Lutte contre les incendies de bâtiments - Chaussures de protection, norme BNQ P 1923.
- ³ Projet de norme CAN/BNQ 1923-500, « Lutte contre les incendies - Chaussures de Protection ».
- ⁴ Norme NFPA 1974, « Standard on Protective Footwear for Structural Fire Fighting », Édition 1992.
- ⁵ Massé, S., Lara, J., Sirard, C. et Daigle, R., « Basic Principle used in the Development of a new cut-test apparatus for standardization », Performance of Protective Clothing : Sixth Volume, ASTM STP 1273, p. 66-83 (1997).
- ⁶ Lara, J., Turcot, D., Daigle, R. et Boutin, J. « La résistance des gants de protection à la coupure. Développement d'une méthode d'essai », rapport IRSST, R-103 (1994).
- ⁷ Norme ASTM F 1342. « Standard Test Method for Protective Clothing Material Resistance to Puncture », 1991.
- ⁸ Lara, J., Nélisse, N., Côté, S. et Nélisse, H. « Développement d'une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection », Rapport IRSST, R-059, 1992.
- ⁹ Fairprene Industrial Products Company Inc., 85 Mill Plain Rd., Fairfield, CT. 06430, USA.
- ¹⁰ ISO 13998 « Protective Clothing - Mechanical Properties - Determination of Resistance to cutting by sharp objects », International Standard, 1999.
- ¹¹ Coletta, G. C., Schwope, A. D., Arons, I., King, J. et Sivak, A., « Development of Performance Criteria for Protective Clothing used Against Carcinogenic Liquids », Arthur D. Little, Inc., Rapport à NIOSH, contrat N° 310-76-0130 (octobre 1978).
- ¹² Lara, J., Turcot, D., Daigle, R. et Boutin, J., « A New Test Method to Evaluate the Cut Resistance of Glove Materials », présenté au 5th International Symposium on Performance of Protective Clothing: Improvement Through Innovation. San Francisco, janvier 1994.
- ¹³ Mechanical Testing and Simulation Systems Corporation, 1400 Technology Drive, Eden Prairie, MN 55344-2290, USA.