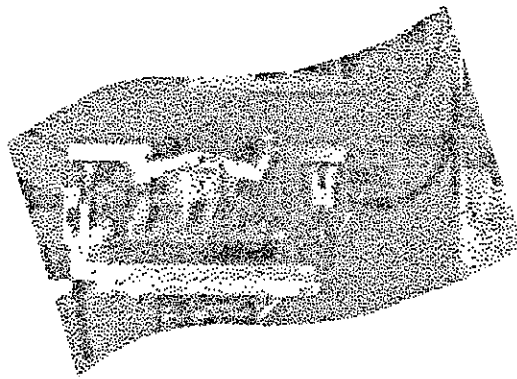


**La résistance des gants
à la coupure -
Développement
d'une méthode d'essai**



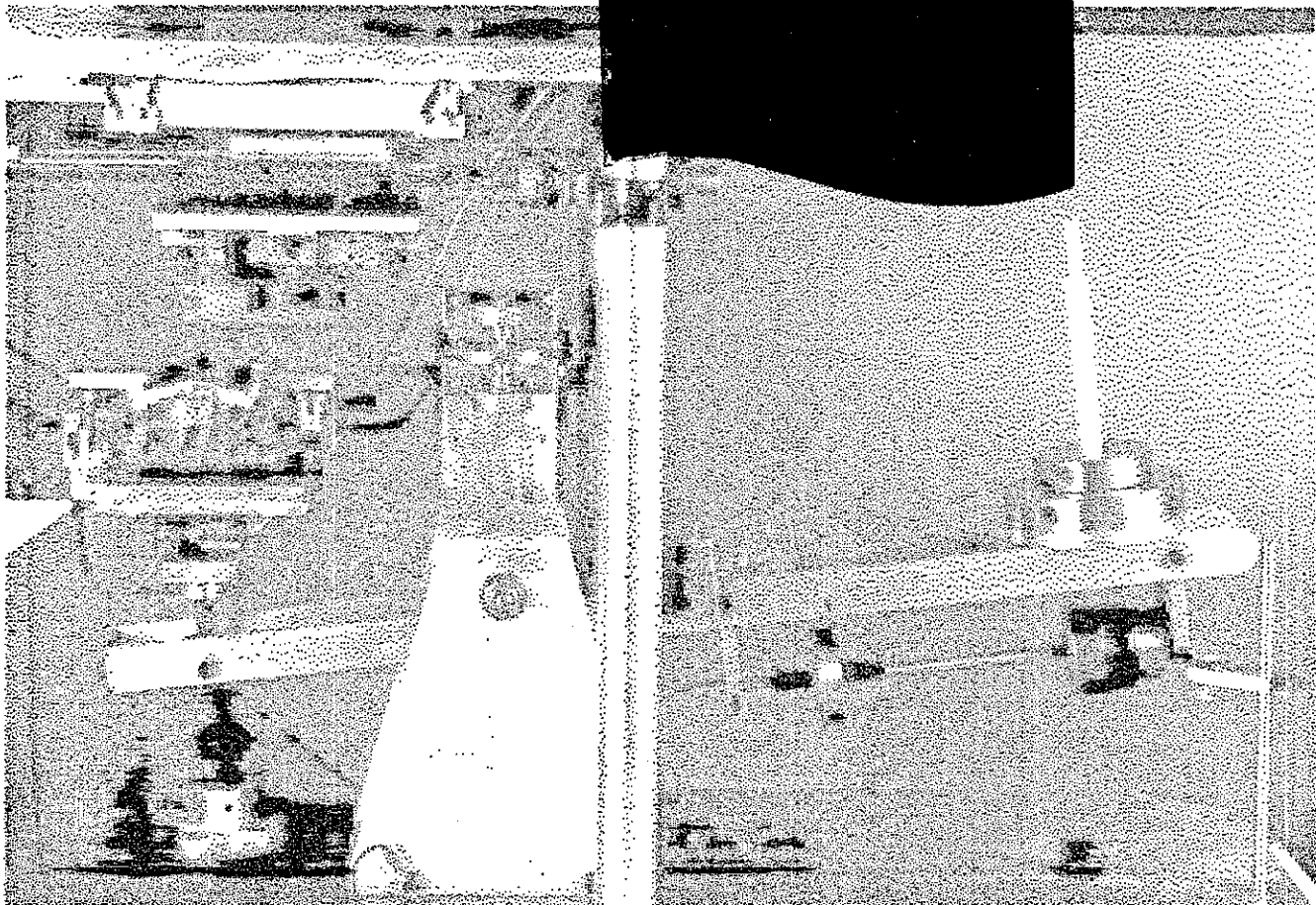
**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Jaime Lara

Juin 1995

R-103

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,

**La résistance des gants
à la coupure -
Développement
d'une méthode d'essai**

**Jalme Lara, Denis Turcot,
Renaud Dalgte et Jérôme Boulin
Programme sécurité-ingénierie, IRSST**

**RECHERCHES
FÉDÉRALES
EN
SÉCURITÉ**

RAPPORT

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1. INTRODUCTION	1
2. PARTIE EXPÉRIMENTALE	4
2.1 Le banc d'essai	4
2.2 Le porte-échantillon	5
2.3 Paramètres à caractériser	5
2.4 Les matériaux	6
3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	8
3.1 Exemple de résultats	8
3.2 Dégradation du tranchant de la lame	9
3.3 L'effet de la vitesse de la lame	10
3.4 L'effet de la qualité de la lame sur la reproductibilité des résultats	11
3.5 Effet de la géométrie du porte-échantillon	12
3.6 Effet de la charge	14
4. COMPARAISON DES MÉTHODES D'ESSAI DE L'IRSST ET DE L'ITF	16
4.1 Comparaison des bancs d'essai	16
4.2 Comparaison des résultats des méthodes de l'IRSST et de l'ITF	18
4.3 Le niveau de résistance à la coupure des gants de protection	24
5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	25
5.1 Sur la méthode d'essai développée	25
5.2 Sur la résistance des gants à la coupure	26
6. RÉFÉRENCES	28

1. INTRODUCTION

Les données de la CSST démontrent que sur les accidents indemnisés chaque année, près de 30 % concernent des lésions aux membres supérieurs, dont 80 % aux mains⁽¹⁾. Ces lésions sont principalement des coupures et des piqûres causées par la manipulation des pièces métalliques et des outils.

L'utilisation des gants de protection adaptés au type de travail réalisé et au type de risque mécanique, coupure ou piqûre, pourrait diminuer le nombre ou la gravité des lésions.

Pour déterminer le niveau de protection offert par un gant par rapport aux risques mécaniques, il faut évaluer la résistance du matériau à la coupure et/ou à la perforation à l'aide de méthodes d'essais fiables et dans des conditions standardisées. Dans ces conditions, les résultats peuvent être comparés et les matériaux peuvent être classés suivant le niveau de résistance au risque mécanique. Dans d'autres mots, le but d'un test de laboratoire n'est pas de reproduire le risque mécanique dans les conditions retrouvées en milieu de travail, mais plutôt de comparer la performance des matériaux les uns par rapport aux autres.

Dans le cas de la perforation, nous avons développé une méthode d'essai qui a permis d'évaluer la résistance de la plupart des gants de protection commercialement disponibles au Québec^(3,4). Cette méthode consiste à déterminer le maximum de la force nécessaire pour provoquer la rupture d'un matériau à l'aide d'une pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre qui se déplace à une vitesse contrôlée de 100 mm/min. Comme résultat de cette recherche, il a été proposé une classification des gants de protection en fonction de leur niveau de résistance à la perforation. La méthode d'essai a été adoptée par le Comité Européen de Normalisation CEN/TC- 162 et elle fait partie de la norme sur les gants de protection contre les risques mécaniques EN 388.

Au moment d'initier cette recherche, il n'existait pas de méthode internationalement reconnue pour évaluer la résistance à la coupure. Le comité F-23 de l'ASTM (American Society for Testing and Materials) qui s'occupe du développement des méthodes d'essai pour les vêtements de protection, avait identifié la nécessité de faire des recherches pour développer une méthode pour la coupure. Dans le cadre de ces travaux, plusieurs méthodes ont été mises au point mais deux seulement ont été considérées comme potentiellement normalisables. Une méthode fait partie de la norme NFPA 1974⁽⁵⁾ (National Fire Protection Association) et l'autre est un appareil connu sous le nom de Betatec®, marque enregistrée par la compagnie Allied Signal⁽⁶⁾.

La méthode de la norme NFPA 1974

Le principe de la méthode consiste à faire glisser une lame sur une pièce d'échantillon et à déterminer s'il y a coupure dans un déplacement de la lame de 5 cm. Le banc d'essai est composé d'un bras pivotant, dont une extrémité est reliée à l'axe et l'autre à une lame. À la partie inférieure du banc d'essai, se trouve un porte-échantillon ayant un support semi-circulaire. Pour réaliser un test, la lame est mise en contact avec l'échantillon; une masse de 7,6 kg est appliquée sur le support de la lame et le porte-échantillon est tiré à une vitesse d'environ 50 mm/min. La lame est réutilisée pour plusieurs essais.

Le principal avantage de la méthode est l'extrême simplicité du banc d'essai. Les faiblesses de cette méthode d'essai sont nombreuses; une des plus importantes faiblesses étant le fait que la charge appliquée sur la lame ne demeure pas constante pendant l'essai à cause des défauts de conception de

l'appareil. De plus, le fait de réutiliser la lame fait en sorte que le tranchant de celle-ci se dégrade. Finalement, la détection de la coupure du matériau se fait visuellement à la fin de l'essai, ce qui limite la précision des mesures.

Les tests interlaboratoires réalisés entre les membres du comité F-23 de l'ASTM ont démontré que les résultats n'étaient pas reproductibles. Le méthode a été abandonnée par l'ASTM mais le NFPA l'a incluse dans la norme NFPA 1974, en l'absence d'une autre méthode d'essai pour la coupure.

L'appareil Betatec®

Le principe de fonctionnement de l'appareil consiste à faire glisser sur un échantillon, une lame droite qui se déplace horizontalement dans un mouvement d'aller et retour, avec une vitesse sinusoïdale⁽⁶⁾ et à déterminer le nombre de cycles réalisés par la lame au moment de la coupure du matériau. La charge est appliquée sur la lame. Le porte-échantillon est circulaire et il tourne pendant le test.

Le principal avantage de cet appareil est sa petite taille, ce qui le rend portable. Le principal problème est la détérioration de la lame lorsque celle-ci fait plusieurs cycles sur le matériau. Les tests interlaboratoires réalisés par les membres du comité F-23 de l'ASTM ont démontré que les résultats n'étaient pas reproductibles. De ce fait, l'appareil a été abandonné.

Le concept du banc d'essai de l'IRSST

La revue de la littérature faite dans un projet préalable⁽⁹⁾, nous a permis de constater qu'il y avait très peu de travaux de recherche réalisés pour étudier le phénomène de la coupure. Les informations de la littérature ainsi que des connaissances acquises lors de notre participation aux discussions au comité F-23 de l'ASTM sur le sujet, nous ont permis de proposer une nouvelle méthode d'essai.

Le principe de la méthode consiste à déterminer en même temps, la distance parcourue par la lame et la charge nécessaire pour couper un matériau, lorsque le tranchant de celle-ci passe une seule fois sur l'échantillon. Dans ce cas, la lame n'est pas réutilisée.

La charge est appliquée directement sur l'échantillon à travers un système de levier. Ce type de mécanisme assure que la charge appliquée demeure constante pendant la durée de l'essai. Dans ce cas, l'échantillon se déplace verticalement sur une distance égale à son épaisseur, alors que le couteau se déplace horizontalement à une vitesse contrôlée. La charge appliquée peut être changée en fonction du niveau de résistance à la coupure du matériau du gant.

Dans la présente étude, un prototype de banc a été mis en essai. La reproductibilité et la fiabilité des résultats ont été établis par des essais avec des matériaux ayant une épaisseur et une composition homogènes. De plus, à l'aide de ces matériaux, les différentes variables, à savoir la vitesse de déplacement de la lame et la charge appliquée sur l'échantillon ont été caractérisées. Ceci a permis d'établir les conditions expérimentales pour la réalisation de l'essai de coupure.

Pendant que le projet était en cours de réalisation, une méthode d'essai développée à l'Institut Textile de France (ITF) à Lyon a été normalisée^(7,8).

La méthode ITF

Le principe de base de la méthode développée à l'ITF consiste à faire glisser une lame circulaire sur un échantillon mis à plat et à déterminer le nombre des cycles réalisés par la lame jusqu'au moment de la coupure. La charge est de 5 newtons et elle est appliquée sur la lame.

Pour déterminer le niveau de résistance à la coupure, le nombre de cycles nécessaires pour couper un matériau de gant de protection est comparé au nombre de cycles nécessaires pour couper un coton de référence. Cette procédure a été établie pour tenir compte de la dégradation de la lame. Pour calculer le niveau de résistance à la coupure du matériau, l'équation suivante est utilisée :

$$i_n = \frac{\bar{C}_n + T_n}{C_n} \quad (1)$$

où i_n est un terme appelé index; n est le nombre d'essais; \bar{C}_n est le nombre moyen de cycles nécessaires pour couper le coton dans un essai avant l'évaluation du matériau et un autre après cette évaluation; T_n est le nombre de cycles nécessaires pour couper le matériau. La valeur moyenne de i_n pour cinq séries de tests est définie comme l'index I , valeur qui est utilisée pour classer le niveau de résistance des matériaux. Cette valeur est représentée par l'équation suivante :

$$I = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 i_n \quad (2)$$

La classification de la résistance des gants se fait à partir des valeurs I de la façon suivante :

Niveau	Index
1	$1,2 \leq I < 2,5$
2	$2,5 \leq I < 5,0$
3	$5,0 \leq I < 10,0$
4	$10,0 \leq I < 20,0$
5	$I > 20,0$

Le niveau 1 représente les matériaux ayant la résistance à la coupure la plus faible et le niveau 5 représente les matériaux ayant la résistance à la coupure la plus élevée.

La méthode de l'ITF a été adoptée dans la norme AFNOR NF S 75-001 sur les «Gants et mouffles de protection contre les agresseurs mécaniques»⁽⁷⁾. De plus, cette méthode d'essai fait partie de la norme de la Communauté Européenne de Normalisation (CEN) EN 388 «Protective Gloves Mechanical Test Methods and Specification».

Afin d'établir l'équivalence entre les deux méthodes, des essais comparatifs ont été réalisés avec 18 gants de protection ayant des niveaux différents de résistance à la coupure.

Dans la première partie de ce rapport, une description du banc d'essai développé à l'IRSST et les essais visant à déterminer l'effet des différents paramètres sur les résultats sont présentés. Dans une deuxième partie, se trouvent les résultats d'une étude comparative entre la méthode développée à l'IRSST et la méthode de l'ITF.

2. PARTIE EXPÉRIMENTALE

2.1 Le banc d'essai

La figure 1 est un schéma du banc d'essai développé dans cette étude. Le banc d'essai est constitué de deux parties. À la partie supérieure, se trouve la lame (1) qui se déplace horizontalement et qui est entraînée par un moteur pas-à-pas (2), de la compagnie Superior Electric, Bristol, C.T., U.S.A., modèle M091-FC09. Ce moteur permet d'effectuer des essais à des vitesses constantes entre 1 et 500 mm/min. La lame utilisée dans cette étude est en acier, d'une longueur de 70 mm, de la compagnie American Safety Razor, modèle 88-0121. Le déplacement de la lame est mesuré avec un capteur (3), type LVDT de la compagnie Trans-Tek Inc., modèle 246-000.

La partie inférieure du montage est constituée par un système de levier dont la distance entre le point P (4) où les poids sont installés et le pivot (5), est le double de la distance entre le porte-échantillon (6) et le pivot (5). Il en résulte que la masse (P) appliquée au point 4 est doublée au point 6 (Force normale $F_N = 2 \times P$).

À ce point (6) se trouve le porte-échantillon. Au-dessous du porte-échantillon, est installé un capteur de force (7) de la compagnie Transducer Technique, modèle MPL-50, ayant une capacité de 50 lbs. Ce capteur de force permet de mesurer avec précision la charge appliquée sur l'échantillon pendant l'essai.

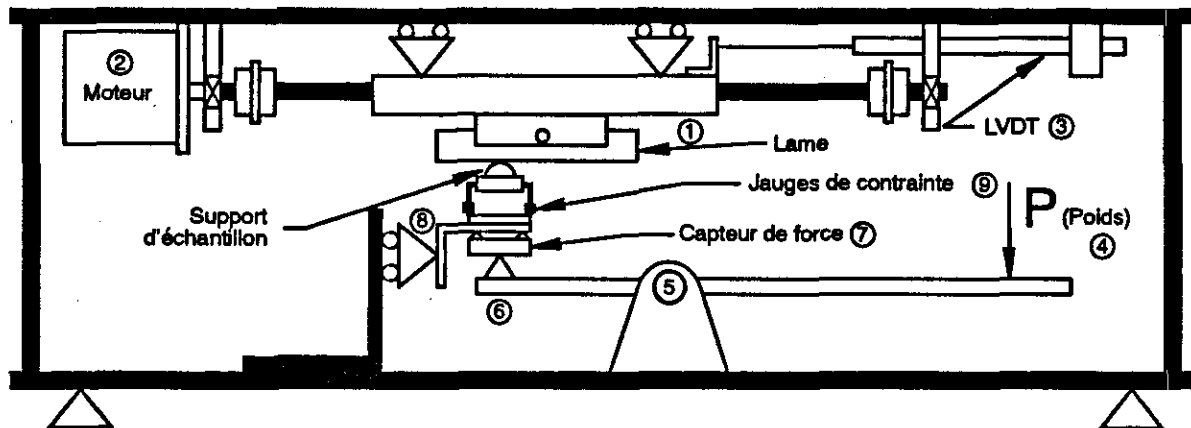


Figure 1. Schéma du banc d'essai. Les numéros de la figure correspondent aux parties du banc d'essai décrites dans le texte

Pour s'assurer que le porte-échantillon se déplace verticalement lorsque la charge est appliquée, ainsi que pour permettre que la charge appliquée (F_N) et la force tangentielle développée pendant l'essai demeurent indépendantes, une glissière verticale a été installée (8). De chaque côté du porte-échantillon, sont installés deux capteurs de force à jauges de contrainte (9) qui permettent de mesurer la force tangentielle développée lors du glissement de la lame sur l'échantillon. Au dessous de l'échantillon, une feuille d'aluminium reliée à un circuit électrique permet de déterminer le moment où la lame traverse le matériel.

La force tangentielle développée lors du frottement entre le tranchant de la lame qui se déplace horizontalement et le matériau qui reste fixe, peut varier de beaucoup entre les différents types de matériaux. Nous croyons que la force résultante (F_R) entre la charge normale appliquée et la force tangentielle développée pendant le test, est importante pour caractériser le phénomène de la coupure. L'énergie pour couper un matériau est représentée par l'équation suivante :

$$\int F_R \times d$$

L'intégrale de l'aire sous la courbe de F_R en fonction de la distance parcourue par la lame, est l'énergie dépensée pour couper le matériau. Cependant, dans ce projet, cette option n'a pas été utilisée. Pour des fins de normalisation, seules les mesures du déplacement de la lame et de la force normale ont été considérées.

D'autre part, le banc d'essai est équipé d'un conditionneur de signaux qui permet de faire une mise à zéro pour le système des capteurs de force. De plus, le conditionneur de signaux permet d'ajuster le gain de voltage pour obtenir une lecture directe de la force tangentielle ainsi que de la charge appliquée sur l'échantillon. Le banc d'essai est aussi équipé d'un système d'acquisition des données (la vitesse d'acquisition est de 400 données/sec). L'acquisition des données est arrêtée de façon automatique lors du contact de la lame avec la feuille d'aluminium.

Les figures 2 à 5 (pages 6 et 7) montrent les différentes composantes du montage expérimental.

2.2 Le porte-échantillon

Deux géométries de porte-échantillon ont été utilisées. L'une est semi-circulaire d'un rayon de 8 mm et l'autre plate de 7 mm. Les figures 6 et 7 (page 7) montrent les deux types de porte-échantillon utilisés. Les supports d'échantillons ont une longueur de 8 cm environ, ce qui permet de réaliser environ sept essais sur une pièce d'échantillon.

2.3 Les paramètres à caractériser

Pour établir les conditions expérimentales dans lesquelles l'essai de coupure devrait se faire, les paramètres suivants ont été caractérisés :

- a) l'effet de la dégradation du tranchant de la lame;
- b) l'effet de la vitesse de déplacement de la lame;
- c) l'effet de la qualité de la lame sur la reproductibilité des résultats;
- d) l'effet de la géométrie du porte-échantillon;
- e) l'effet de la charge.

Pour chaque couple matériau-condition expérimentale, au minimum sept essais ont été réalisés.

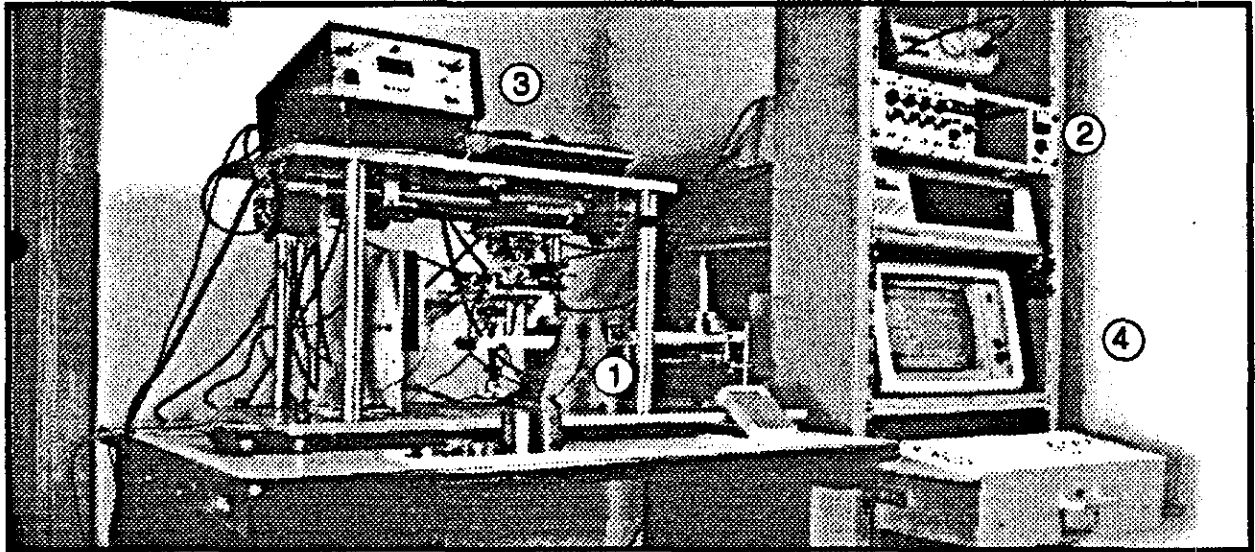


Figure 2

Vue d'ensemble du montage expérimental. On y remarque le banc d'essai (1), le conditionneur de signaux (2), l'unité de contrôle de la vitesse de la lame et d'arrêt de l'essai (3) et le système d'acquisition et traitement des données (4)

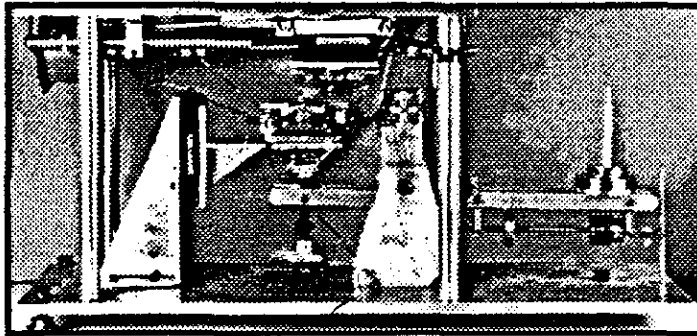


Figure 3

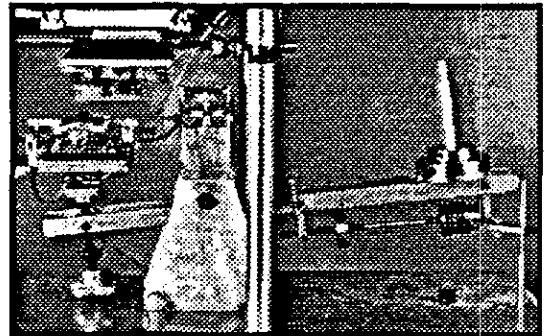


Figure 4

À la figure 3, le levier est en position de travail et à la figure 4, le levier est en position de blocage pour permettre le remplacement de la lame et/ou de l'échantillon

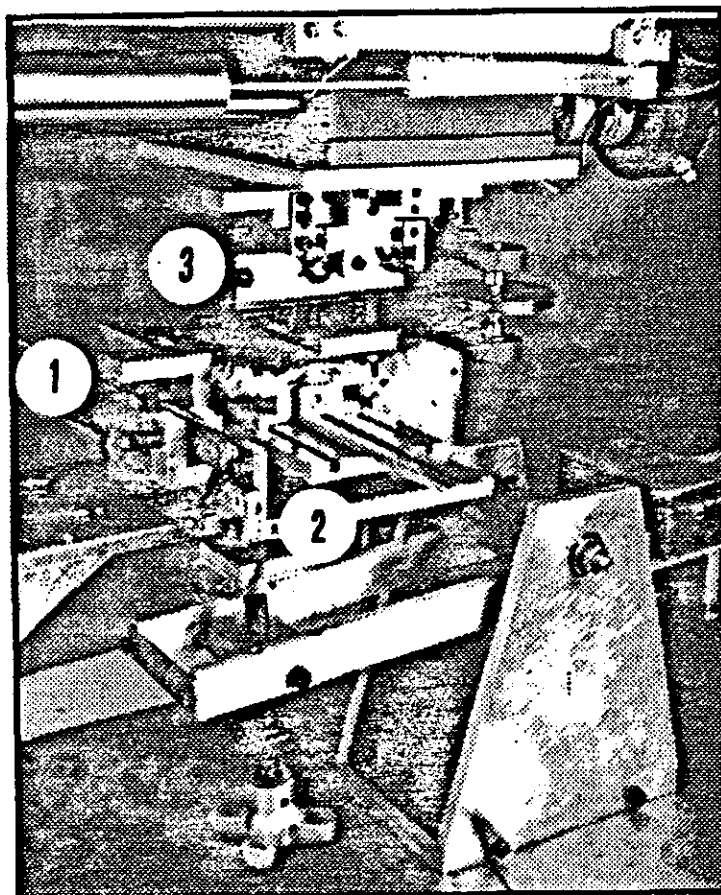


Figure 5. Vue du porte-échantillon (1) avec les jauges de contrainte latérale (2) et le support de la lame (3)

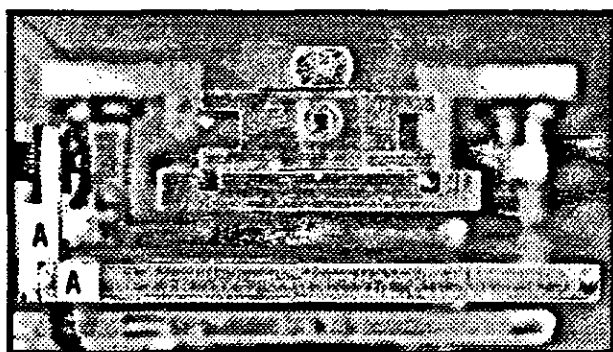


Figure 6

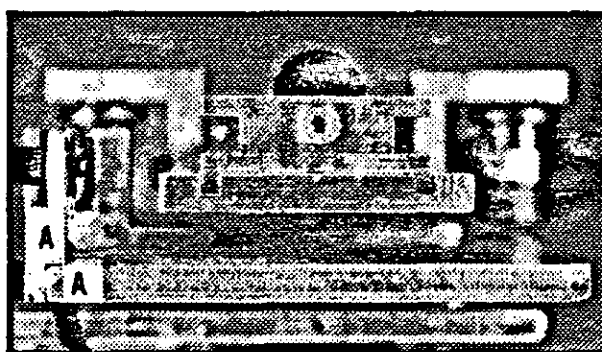


Figure 7

Les figures 6 et 7 présentent respectivement les porte-échantillons plat et semi-circulaire

2.4 Les matériaux

Lors des essais préliminaires, les matériaux suivants ont été utilisés : deux néoprènes, l'un de 1.57 mm d'épaisseur (néoprène A) et l'autre de 0.79 mm d'épaisseur (néoprène B) de la compagnie Fairprene Industrial Products Co.; gants de Kevlar de la compagnie Jomac, modèle 1860-LI; gants en fibres Kevlar et Spectra® renforcées avec des fils d'acier de la compagnie Bettcher Industries Inc., modèle Knifhandler. Les gants utilisés pour les tests comparatifs entre la méthode de l'IRSST et la méthode de l'ITF sont présentés au tableau 5, aux pages 19 et 20. Les échantillons ont été pris dans la paume du gant. La dimension des échantillons étaient de 100 mm de long et 50 mm de large.

Dans le cas des essais faits par la méthode de l'ITF, des pièces de la paume des gants sont d'une dimension de 100 mm de long et 80 mm de large. Ces échantillons sont préconditionnés pendant 24 heures à 25 °C et 50 % d'humidité relative comme décrit dans la norme EN 388. Après cette période, les pièces ont été retirées et gardées dans un sac de polyéthylène étanche jusqu'à la réalisation de l'essai.

Avec les deux méthodes, les échantillons ont été isolés avec des films de polyéthylène lorsque les fibres étaient renforcées avec des fils d'acier pour éviter des faux contacts lors des essais.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Exemple de résultats

La figure 8 montre un exemple de résultats obtenus avec le banc d'essai.

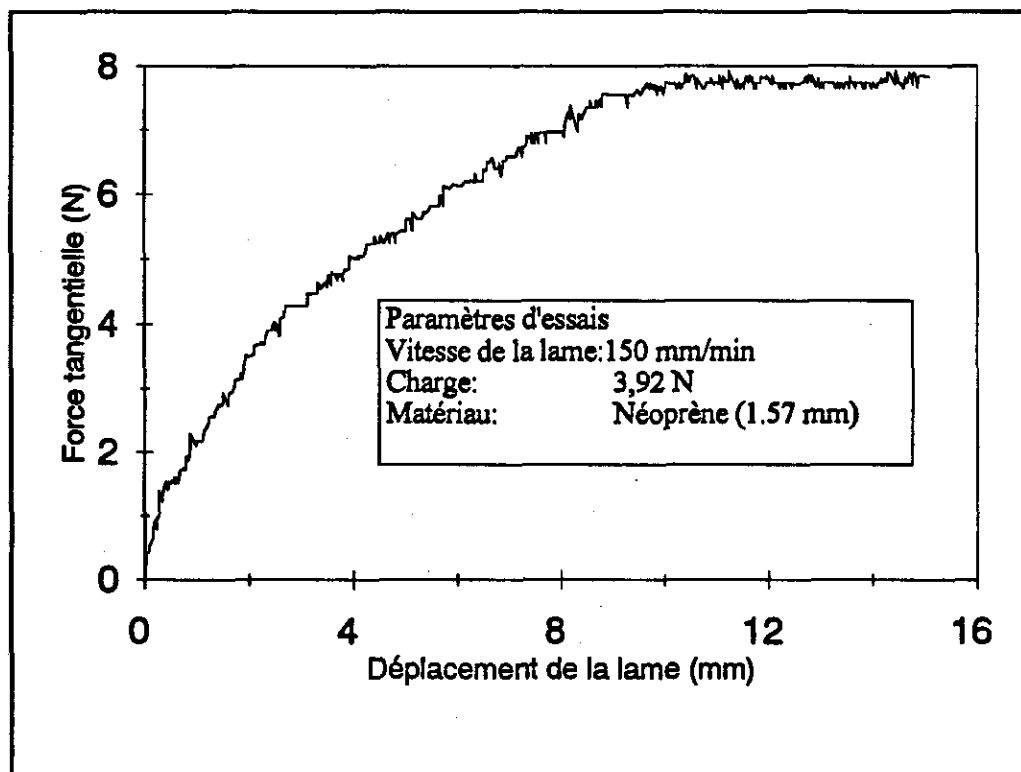


Figure 8. Exemple de résultats obtenu avec le banc d'essai

La figure 8 montre que dès que le glissement de la lame en contact avec le matériau débute, une force tangentielle se développe. Cette force augmente d'une façon exponentielle avec le déplacement de la lame, ce qui est probablement dû à l'effet combiné de la déformation du matériau et au frottement du tranchant de la lame avec le matériau. En ce qui concerne cette étude, la valeur retenue pour déterminer la résistance à la coupure, est la distance parcourue par la lame jusqu'au moment où la coupure se produit (environ 15 mm dans l'exemple présenté à la figure 8) pour une charge donnée.

3.2 Dégradation du tranchant de la lame

La dégradation du tranchant de la lame pendant le test de coupure a été caractérisée par des essais répétés avec la même lame et avec le même type de matériau, le néoprène B, en utilisant le porte-échantillon semi-circulaire.

La figure 9 présente un exemple des résultats obtenus au 3^e, au 5^e et au 74^e essai.

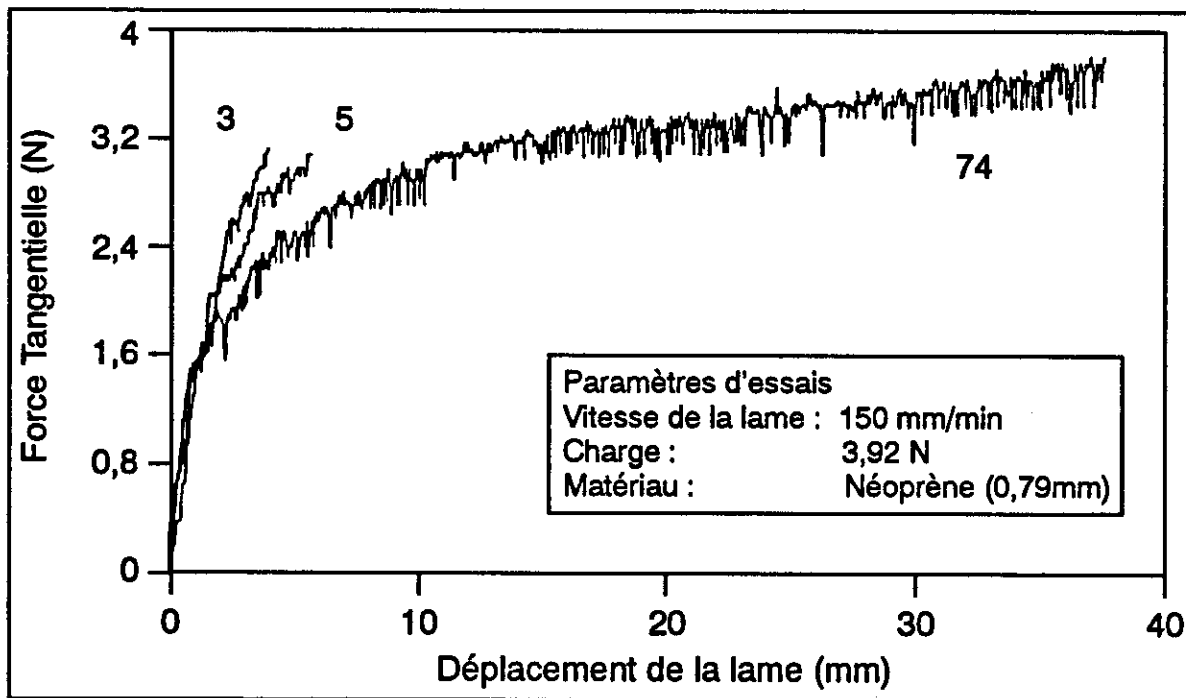


Figure 9. Exemple des résultats obtenus avec une même lame après 3, 5 et 74 essais successifs sur du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur

La figure 9 montre que le déplacement de la lame augmente avec le nombre d'essais réalisés avec la même lame. Au 3^e essai, pour produire une coupure, la lame se déplace d'environ 3 mm, au 5^e essai le déplacement est d'environ 6 mm et au 74^e essai, il est d'environ 37 mm.

L'ensemble des résultats obtenus avec trois lames, identifiées comme lames A, B et C, est présenté à la figure 10.

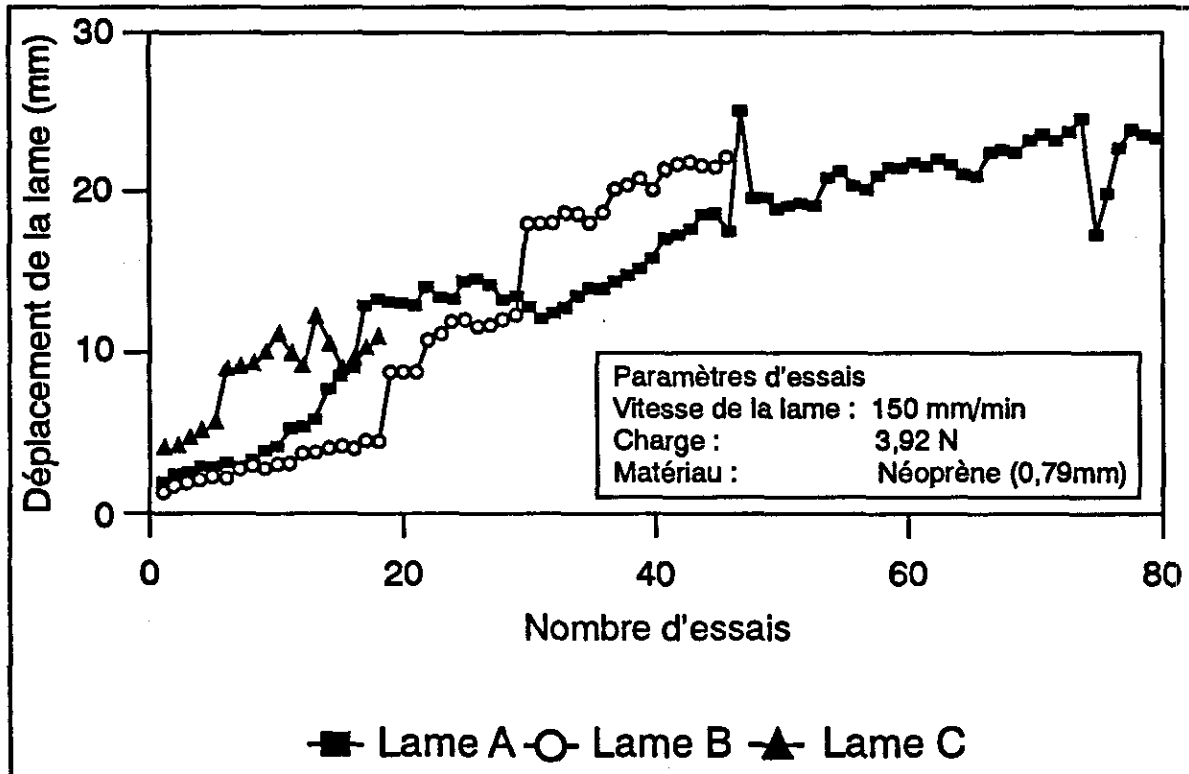


Figure 10. Ensemble des résultats obtenus avec les lames A, B et C dans des essais successifs sur du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur

Cette figure montre que le déplacement de la lame augmente d'une façon régulière avec le nombre d'essais réalisés. Ceci est causé par la dégradation du tranchant de la lame lors des essais successifs. De plus, ces résultats démontrent que l'effet de dégradation de la lame est important même avec des matériaux mous, tel que le néoprène. De ce fait, il est recommandé de n'utiliser le tranchant de la lame qu'une seule fois, lors de l'évaluation de la résistance à la coupure d'un matériau.

3.3 L'effet de la vitesse de la lame

Pour évaluer l'effet de la vitesse de déplacement de la lame sur les résultats des tests de coupure, des essais ont été réalisés avec du néoprène A et B et avec un gant de Kevlar de la compagnie Jomac. Les essais ont été réalisés à deux vitesses différentes de déplacement de la lame, 150 et 350 mm/min pour une même charge appliquée. Nous avons répété les essais 7 fois pour chaque condition expérimentale charge appliquée/vitesse de déplacement de la lame/matériau. Les résultats de ces essais sont présentés au tableau 1.

Tableau 1

Effet de la vitesse de déplacement de la lame sur les résultats des tests de coupure

Matériau	Vitesse de la lame (mm/min)	Charge (Newtons)	Déplacement de la lame (mm)	C.V.* (%)
Néoprène A	350	7,3	4,0	16
	150	7,3	4,0	2
Néoprène A	350	2,9	18,7	7
	150	2,9	17,6	11
Néoprène B	350	2,9	3,1	7
	150	2,9	3,3	16
Kevlar	350	7,3	4,8	38
	150	7,3	4,2	27

- * C.V. = Coefficient de variation
- Néoprène A = 1,57 mm d'épaisseur
- Néoprène B = 0,79 mm d'épaisseur
- Kevlar = Marque enregistré de DuPont, gant fabriqué par Jomac Canada

Les informations du tableau 1 démontrent que l'effet des vitesses de la lame sur les résultats des tests de coupure est négligeable. De ce fait, 150 mm/min a été choisi comme vitesse de déplacement de la lame pour les tests de coupure car elle est plus facile à contrôler.

3.4 L'effet de la qualité de la lame sur la reproductibilité des résultats

La reproductibilité des résultats obtenus avec des lames différentes sur un même type d'échantillon a été vérifiée. Pour ce faire, sept boîtes de lames ayant 100 lames chacune correspondant au numéro de lot 574269 et deux boîtes ayant le numéro de lot 615301 ont été sélectionnées. Les essais ont été faits avec le néoprène A.

De chaque boîte, une lame a été choisie pour faire les essais. Avec chaque lame, un minimum de trois essais ont été réalisés. Les résultats sont présentés au tableau 2. La pratique courante pour les tests de coupure est qu'à chaque fois qu'un essai est terminé, la partie de la lame qui a été en contact avec le matériau est avancée de quelques millimètres tout en s'assurant que l'essai suivant est réalisé avec une partie de la lame non utilisée.

Tableau 2

Reproductibilité des résultats de tests de coupure sur du néoprène 1,57 mm d'épaisseur faits avec des lames différentes

N° de lot	N° lame	Charge (Newtons)	Déplacement de la lame (mm)	C.V.* (%)
574269-3099	1	3,7	6,8	5
"	2	3,7	7,7	3
"	3	3,7	7,3	4
"	4	3,7	7,2	10
"	5	3,7	7,8	10
"	6	3,7	7,7	7
"	7	3,7	7,2	4
615301-3180	8	3,7	8,1	0
"	9	3,7	9,0	8

* C.V. = Coefficient de variation

Les résultats du tableau 2 montrent qu'il existe une bonne reproductibilité pour les résultats obtenus avec des lames provenant du même lot. Cependant, des différences sont observées pour les résultats obtenus avec les lames du lot #615301. Il faudrait faire des essais périodiques afin d'augmenter le nombre de données sur la variation de la qualité du tranchant de la lame en fonction de la date de fabrication. Pour ce faire, il est recommandé d'utiliser un matériau de référence. Le néoprène de 1,57 mm d'épaisseur est suffisamment uniforme dans sa composition et dans son épaisseur pour être utilisé comme matériau de référence.

3.5 Effet de la géométrie du porte-échantillon

Pour évaluer l'effet de la géométrie du porte-échantillon sur les résultats des tests de coupure, des essais ont été réalisés avec les supports d'échantillon semi-circulaire et plat.

Le porte-échantillon semi-circulaire a été utilisé car il correspond mieux à la forme des doigts et des contours de la main. Le rayon de 8 mm du porte-échantillon a été choisi parce qu'il correspond approximativement à celui d'un doigt de la main d'une personne.

Le porte-échantillon plat de 7 mm a été utilisé pour augmenter le nombre de fibres en contact avec la lame, surtout dans le cas de gants tissés en fibres renforcées. De ce fait, l'attaque de la lame sur l'échantillon devrait se faire sur plusieurs fibres simultanément. De plus, le nombre de fibres évaluées dans chaque essai devrait être le même et de ce fait, les résultats devraient être plus reproductibles.

Les matériaux évalués ont été les suivants : le néoprène A, un gant de Kevlar de Jomac et un gant Whizard fait en fibres Kevlar et Spectra® renforcées avec des fils d'acier. Les essais ont été réalisés avec un minimum de trois charges différentes. Les résultats sont présentés au tableau 3.

Tableau 3
Effet de la géométrie du porte-échantillon dans les essais de coupure

Matériau	Porte-échantillon semi-circulaire			Porte-échantillon plat		
	Charge (N)	d ⁻ (mm)	C.V.* (%)	Charge (N)	d ⁻ (mm)	C.V.* (%)
Néoprène A	9,6	2,3	16	9,4	2,6	8
	7,7	3,3	5	7,5	4,2	6
	5,7	5,0	10	5,6	6,5	10
	3,7	7,7	10	4,6	10,7	5
	2,9	15,5	9	3,7	16,7	11
Kevlar	13,2	4,0	28	18,9	2,3	7
	9,6	10,6	27	13,3	5,0	10
	6,5	24,4	27	11,2	14,7	28
				9,5	26,7	30
Kevlar + Spectra® + fils d'acier *	29,0	2,0	17	44,6	2,5	21
	23,2	2,6	13	38,8	3,7	29
	20,4	6,3	81	34,9	6,1	78
	19,3	12,1	80	28,9	9,5	52

- C.V. = Coefficient de variation
 Néoprène A = 1,57 mm d'épaisseur
 Kevlar = Marque enregistrée de Dupont, gant fabriqué par Jomac Canada
 *Spectra® = Marque enregistrée d'Allied-Signal, Inc., USA, gant fabriqué par Golden Needles Knitting & Glove Co. USA.

Les résultats du tableau 3 démontrent que les déplacements de la lame pour couper les échantillons sont plus élevés avec le porte-échantillon plat que ceux obtenus avec le porte-échantillon semi-circulaire, pour des charges appliquées équivalentes. Ceci est en accord avec le fait que la surface de contact du tranchant de la lame avec le matériel est plus grande avec le porte-échantillon plat qu'avec le semi-circulaire.

L'utilisation du porte-échantillon plat cause certains problèmes. En effet, un examen visuel du support d'échantillon plat montre que la coupure se produit généralement dans les coins et non pas au centre, ce qui suggère que le contact de la lame avec l'échantillon n'est pas homogène.

Une des raisons qui pourrait expliquer le fait que la coupure de l'échantillon se produit dans un coin du porte-échantillon plutôt qu'au centre, est la déformation des différentes composantes du montage, lorsque la charge appliquée est élevée. Ce phénomène est observable visuellement lors d'un essai avec un matériau ayant une résistance élevée à la coupure. Une interprétation plausible, est que la coupure du matériau se produit dans le coin où le tranchant non utilisé de la lame attaque en premier le matériau, tandis que celle-ci se déplace. Par la suite, au fur et à mesure que la lame pénètre et glisse dans le matériau, le tranchant de celle-ci se dégrade.

Dans aucun cas, il n'y a avantage à augmenter la surface de contact entre la lame et le matériau en utilisant un porte-échantillon plat. Par contre, l'utilisation du porte-échantillon semi-circulaire présente certains avantages. En effet, il représente mieux la courbure de la main et des doigts. De plus, un test fait avec un porte-échantillon semi-circulaire est plus sévère qu'un test fait avec un porte-échantillon plat.

3.6 Effet de la charge

L'effet de la charge sur le déplacement de la lame à la coupure a été caractérisé avec les néoprènes A et B, le coton de référence de l'ITF et le Kevlar, avec le porte-échantillon semi-circulaire. Des exemples de résultats sont présentés à la figure 11.

Les résultats de la figure 11 montrent que la résistance à la coupure du néoprène A est plus élevée que celle du néoprène B, ce qui concorde avec le fait que l'épaisseur du néoprène A est le double de celui du néoprène B. De plus, cette figure montre que le déplacement de la lame augmente d'une façon non linéaire avec la diminution de la charge. Le même comportement est observé avec les autres matériaux caractérisés.

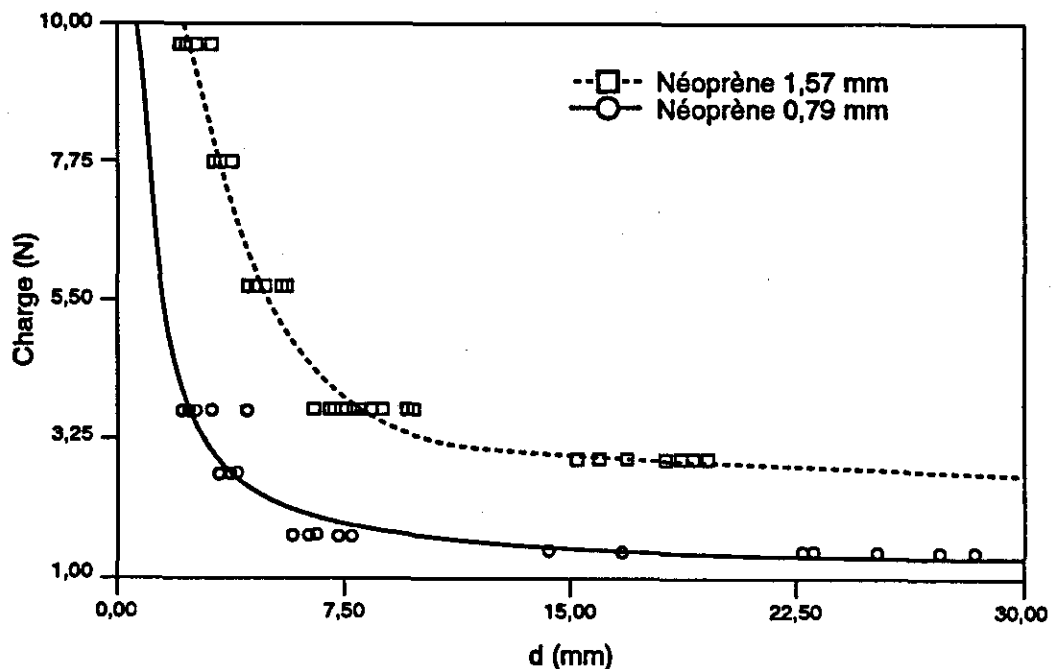


Figure 11. Exemple de résultats obtenus avec le néoprène A de 1.57 mm d'épaisseur et le néoprène B de 0.79 mm d'épaisseur avec le porte-échantillon semi-circulaire. Le graphique représente la charge appliquée en Newton et le déplacement (d) de la lame au moment de la coupure en millimètres

La relation entre la diminution de la charge et l'augmentation du déplacement de la lame est celle d'une exponentielle décroissante et peut être représentée par l'équation suivante :

$$F = a (\bar{d})^b + c \quad (3)$$

où F est la charge appliquée, \bar{d} est le déplacement moyen de la lame et a, b et c, sont des constantes.

Le calcul des coefficients a , b et c et le coefficient de corrélation r ont été calculés à l'aide du logiciel SOLO, version 3.1 (Solo Statistical System, Computer Software, de BHDP Statistical Software, Inc., 1991) par la méthode des moindres carrés en utilisant comme modèle l'équation 3. Le système SOLO se sert de l'algorithme de Marquardt (9) pour calculer par itération, les meilleures valeurs des constantes à partir des résultats expérimentaux. Dans ces cas, le nombre d'itérations a été limité à 50.

Dans le cas du néoprène A, les coefficients a , b et c sont respectivement 18,0, -0,97 et 1,51 avec un coefficient de corrélation r de 0,98. Dans le cas du néoprène B, les coefficients a , b et c sont respectivement de 6,0, -1,0 et 1,13 avec un coefficient de corrélation r de 0,93. En remplaçant ces valeurs dans l'équation 1, nous pouvons calculer la charge nécessaire pour couper le matériau à une distance déterminée.

Une analyse des résultats de la figure 11 permet de constater que si la charge appliquée est de 8 Newtons, la coupure du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur se produit dans un déplacement de la lame d'environ 5 mm alors que si la charge appliquée est de 2 newtons, la lame utilisée ne sera pas suffisamment longue pour couper le matériau.

Pour comparer le niveau de résistance à la coupure des différents modèles de gants, il faudrait idéalement faire des tests avec quatre ou cinq charges différentes, tel que présenté dans la figure 11. Ceci implique un grand nombre d'essais, ce qui entraîne une augmentation des coûts. Cependant, du point de vue pratique, il est possible d'évaluer la résistance des matériaux en faisant des tests avec un minimum de deux charges différentes, ce qui résulte en deux déplacements différents de la lame. Avec ces données, il est possible de calculer par régression non linéaire, la force nécessaire pour couper le matériau à une distance donnée.

Il faut donc fixer la distance par rapport à laquelle la charge nécessaire pour couper le matériau doit être déterminée. Pour ce faire, on peut se référer aux résultats présentés à la figure 11.

D'une façon générale, il a été observé que lorsque la charge appliquée est élevée, le déplacement de la lame est court et la dispersion des résultats est faible. Inversement, lorsque la charge appliquée est faible, le déplacement de la lame est plus grand et la dispersion des résultats augmente. Lorsque le déplacement de la lame est plus grand que 15 mm, la dispersion des résultats devient très importante. Par conséquent, les meilleurs résultats des tests de coupure sont obtenus pour des déplacements de la lame entre 3 mm et 20 mm.

La figure 11 montre qu'il existe deux régions dans lesquelles les variations des charges appliquées produisent des déplacements de la lame très différents. Dans la région où le déplacement de la lame se situe entre 0 et 10 mm environ, une variation importante de la charge provoque une faible variation dans le déplacement de la lame. Dans la région où le déplacement de la lame se situe entre 10 mm et 20 mm, une faible variation de la charge provoque une variation importante du déplacement de la lame. Par exemple, pour le néoprène A, lorsque la charge appliquée varie de 1,9 N (de 9,6 N à 7,7 N), le déplacement de la lame varie de 1 mm (de 2,3 à 3,3, voir tableau 3 à la page 13) avec le porte-échantillon semi-circulaire. À l'autre extrême, lorsque la charge varie de 0,8 N (de 3,7 N à 2,9 N) le déplacement de la lame varie de 7,8 mm (de 7,7 mm à 15,5 mm).

Dans cette étude, la charge nécessaire pour provoquer la coupure d'un matériau avec un déplacement de la lame de 10 mm a été choisie pour déterminer la résistance à la coupure. Il s'agit donc d'évaluer les matériaux avec au moins deux charges différentes pour obtenir des déplacements de la lame de moins de 10 mm et de plus de 10 mm. Ainsi, la valeur de la charge pour couper le matériau avec un parcours de lame de 10 mm, peut être calculée par interpolation. Il est préférable de faire des essais avec des charges telles que les valeurs de déplacement de la lame soient très rapprochées de 10 mm (une série

d'essais pour obtenir une valeur moyenne > 10 mm et une autre série pour obtenir une valeur moyenne < 10mm). Si les résultats des tests sont très éloignés de la valeur recommandée, les erreurs commises peuvent être d'une certaine importance, compte tenu du fait que le déplacement de la lame varie d'une façon exponentielle avec la diminution de la charge. Comme exemple de cette procédure, on a calculé à partir des résultats présentés au tableau 3, les charges nécessaires pour couper les matériaux à 10 mm de parcours de la lame. Les résultats sont présentés au tableau 4.

Tableau 4

Charge calculée pour provoquer la coupure des matériaux avec un déplacement de lame de 10 mm. Les tests ont été faits avec les porte-échantillons semi-circulaire et plat

Matériau	Porte-échantillon semi-circulaire	Porte-échantillon plat
Néoprène A	3,5 N (3,4)	4,8 N (4,8)
Kevlar	9,9 N (10,5)	12,2 N (12,0)
Kevlar + Spectra® renforcé avec fils d'acier *	19,7 N (19,8)	28 N (28)

La charge pour couper le matériau a été calculée par l'interpolation des deux valeurs expérimentales les plus rapprochées de 10 mm. Les valeurs entre parenthèses ont été calculées avec l'équation 1. En utilisant la même équation, la valeur calculée pour le néoprène B est de 1,7 N (voir figure 11)

Néoprène A = 1,57 mm d'épaisseur

Kevlar = Marque enregistrée de DuPont, gant fabriqué par Jomac Canada

Spectra® = Marque enregistrée d'Allied-Signal Co. USA, gant fabriqué par Golden Needles Knitting & Glove Co, USA.

Les résultats du tableau 4 démontrent que les niveaux de résistance à la coupure des différents matériaux peuvent être facilement comparés avec cette méthode.

4. COMPARAISON DES MÉTHODES D'ESSAI DE L'IRSST ET DE L'ITF

Dans cette section seront décrites les principales différences entre la méthode d'essai développée dans ce projet et celle de l'ITF qui correspond à la norme de la Communauté Européenne de Normalisation (CEN), EN 388 (voir page 3). De plus, les résultats des tests de coupure sur des gants de protection faits par les deux méthodes seront comparés.

4.1 Comparaison des bancs d'essai

La mesure :

- La méthode ITF consiste à déterminer le nombre de cycles de la lame nécessaires pour provoquer la coupure du matériau. Cette valeur est comparée avec le nombre de cycles nécessaires pour couper un coton de référence;
- La méthode IRSST consiste à déterminer la distance parcourue par la lame jusqu'au moment de la coupure du matériau, pour une charge donnée. Le niveau de résistance à la coupure est déterminé de la façon décrite préalablement.

La lame :

- La méthode ITF fait usage d'une lame circulaire de 45 mm de diamètre, ce qui correspond à une circonférence de 141 mm. La lame peut être utilisée pour plusieurs essais;
- La méthode IRSST fait usage d'une lame droite d'une longueur de 70 mm. Le tranchant de la lame n'est utilisé qu'une fois.

Mouvement et vitesse de la lame :

- Dans la méthode ITF, la lame se déplace horizontalement sur l'échantillon dans les deux sens, en tournant toujours dans le sens contraire à son déplacement. La vitesse de la lame est sinusoïdale avec une vitesse maximale de 100 mm/s;
- Dans la méthode IRSST, la lame se déplace dans un sens, avec une vitesse constante de 150 mm/min.

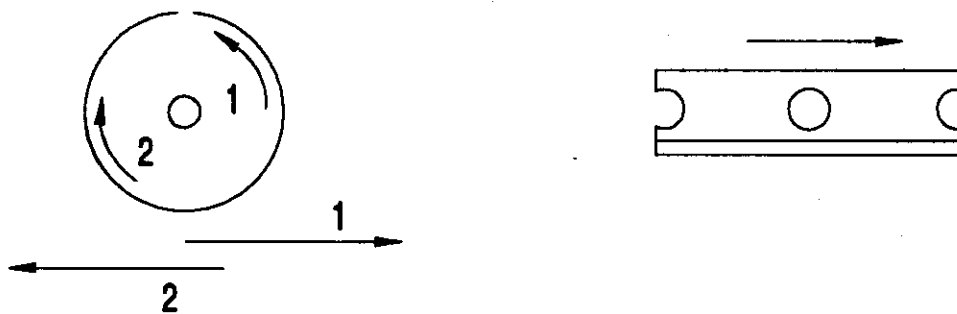


Figure 12. Déplacement de la lame dans la méthode de l'ITF à gauche et dans la méthode de l'IRSST à droite

La charge :

- Dans la méthode ITF, la charge est appliquée sur la lame. La charge utilisée est de 5 N;
- Dans la méthode IRSST, la charge est appliquée sur l'échantillon. La charge appliquée est fonction du niveau de résistance du matériau à la coupure. De plus, les essais doivent être réalisés avec au moins deux charges différentes.

Le porte-échantillon :

- Dans la méthode ITF, le porte-échantillon est plat, fait d'aluminium de 90 mm de longueur avec cinq fentes de 5 mm de large. Le temps de contact du tranchant de la lame avec le matériau est très court;
- Dans la méthode IRSST, le porte-échantillon est semi-circulaire d'un diamètre de 16 mm, fait en plexiglass. Le contact du tranchant de la lame avec le matériau est permanent pendant la durée du test.

Avec les deux méthodes, une feuille en aluminium est installée sous le matériau à évaluer. L'arrêt de l'essai se produit via un circuit électrique lorsque la lame entre en contact avec la feuille d'aluminium.

Conditionnement de la lame

- Avec la méthode ITF, la lame doit être conditionnée sur du coton avant de commencer une série d'essais. Cette procédure a pour but d'user la lame afin d'obtenir le tranchant le plus uniforme possible. Ceci est vérifié avec le coton de référence.

Pour ce faire, la lame doit tourner sur cinq couches de coton jusqu'à l'obtention d'un minimum de 0,8 cycle pour couper le coton de référence;

- Avec la méthode IRSST, la lame est utilisée telle que reçue.

4.2. Comparaison des résultats des méthodes de l'IRSST et de l'ITF

L'évaluation de la résistance à la coupure des gants de protection avec les méthodes de l'ITF et de l'IRSST a été réalisée suivant les procédures décrites dans les sections précédentes. Avec la méthode ITF, la procédure suivie est celle de la norme EN 388.

Le tableau 5 aux pages 19 et 20, présente l'ensemble des résultats obtenus avec les deux méthodes. Avec la méthode ITF, deux séries d'essais avec cinq essais par série, ont été réalisées. La valeur de l retenue est la plus faible obtenue pour les deux séries d'essais et est présentée en caractère gras dans le tableau. Avec la méthode IRSST, au moins deux séries d'essais, avec un minimum de sept essais par série, ont été réalisées. La valeur calculée de la charge pour obtenir la coupure avec un déplacement de la lame de 10 mm, est celle qui a été retenue. Ces valeurs sont présentées à la dernière colonne du tableau.

Les résultats du tableau 5 démontrent que les coefficients de variation (C.V.) des résultats obtenus avec la méthode ITF sont beaucoup plus petits que ceux obtenus avec la méthode IRSST. Ceci est plus remarquable avec des gants ayant une faible résistance à la coupure. Dans ce cas, les C.V. des résultats obtenus avec la méthode de l'ITF sont souvent très faibles ou bien égaux à 0. Ceci peut être interprété comme étant dû à la différence dans la sensibilité des deux appareils. En effet, la limite de détection de l'appareil de l'ITF est de 0.1 cycle, ce qui correspond à un parcours de lame de 14 mm environ. Par contre, l'appareil de l'IRSST a une limite de détection estimée à 0.1 mm.

La différence dans la limite de détection des deux appareils pourrait expliquer la plus grande variabilité des résultats obtenus avec la méthode IRSST dans les cas des matériaux ayant une résistance à la coupure faible (niveau 1). Par exemple, dans le cas d'un matériau homogène tel que le néoprène, il n'y pas de variation dans les résultats obtenus avec la méthode ITF (C.V. = 0), tandis qu'avec la méthode IRSST les C.V. sont de l'ordre de 10 % ou moins lorsque le déplacement de la lame est inférieur à 20 mm et plus élevés lorsque le déplacement de la lame est plus grand que 20 mm. Le tableau 6 présente quelques exemples de résultats obtenus avec les deux méthodes et leurs coefficients de variation.

Tableau 5. Résultats des tests de coupure obtenus avec la méthode ITF et la méthode IRSST

Niveau	Fabricant	Modèle de gant	ITF		IRSST					
			Index	% C.V.	F_{exp} (N)*	\bar{d} (mm)	% C.V.	F_{cal} (N)**	% C.V.	
< 1	Ansell-Edmont	32-125 (Nitrile doublé)	1.1	0	2.9	5.7	53	2.2	50	
			1.1	0	1.9	12.0	46			
	Best	890-10 (Viton non doublé)	1.1	0	2.4	6.5	25	2.1	21	
			1.1	0	1.9	11.6	17			
	Pioneer	N-35 (Néoprène non doublé)	1.1	1	5.8	4.7	17	4.4	20	
			1.1	1	3.4	13.9	23			
				2.9	15.7	5				
1	Laurentide	1002 (Caoutchouc naturel/doublé)	2.0	0	7.8	6.5	8	5.9	14	
			2.0	0	5.8	10.1	19			
	Pioneer	LL-42 (Caoutchouc naturel/doublé)	2.0	0	5.8	5.5	31	4.1	27	
			2.0	1	3.9	10.6	22			
	Ganka	6062 (Cuir/doublé)	1.7	4	3.8	2.5	16	2.6	16	
			1.8	4	2.7	15.2	16			
2	Best	65-NFW (Caoutchouc naturel/doublé)	2.8	11	9.7	5.6	11	7.4	9	
			2.8	11	4.8	15.0	6			
	Best	93-NFW (Caoutchouc naturel/doublé)	2.6	10	9.7	7.8	5	8.6	5	
			2.7	0	5.8	15.5	5			
	Ansell-Edmont	92-347 (Nitrile doublé coton/Kevlar)	3.5	18	9.6	2.7	19	5.8	33	
			3.7	12	3.7	14.0	47			

* F_{exp} = Charge appliquée

** F_{cal} = Charge calculée pour un déplacement de la lame de 10 mm.

Tableau 5. Résultats des tests de coupure obtenus avec la méthode ITF et la méthode IRSST (suite)

Niveau	Fabricant	Modèle de gant	ITF		IRSST				
			Index	% C.V.	F_{exp}^*	\bar{d} (mm)	% C.V.	F_{cal}^{**}	% C.V.
3	Whizard	LTG (Polyester/ nylon, fil d'acier)	8.8	25	15.2	11.6	84	16.3	68
			9.1	20	9.5	20.0	52		
	Jomac	1567 (mélange polyester + coton)	7.8	55	5.7	9.6	33	5.6	30
			8.4	15	4.3	21.7	27		
Ansell-Edmont	92-345 (Nitrile doublé coton/Kevlar)	9.7	24	11.3	5.5	33	8.4	30	
		10.4	51	6.6	12.8	27			
4	Jomac	1860 (Kevlar)	14.1	8	13.2	4.0	28	10.0	28
			17.5	9	9.6	10.6	27		
	Whizard	DLFC (Spectra)	19.2	16	15.2	8.1	48	14.8	40
			24.4	18	9.5	32.3	31		
Whizard	LINR (Spectra + fil d'acier)	14.7	9	19.1	5.4	28	17.8	28	
		15.0	15	13.2	26.3	27			
5	Whizard	HDG (Spectra/Kevlar + fil d'acier)	20.6	32	19.0	10.1	71	19.1	96
			24.3	19	15.1	15.7	120		
	Whizard	KNIF (Spectra/Kevlar + fil d'acier)	21.4	25	28.8	12.2	122	29.8	93
			25.4	34	25.0	17.7	64		
Polar Bear	PBP-35 (Spectra + fil en fibre de verre)	36.4	9	28.8	8.1	139	27.3	115	
				19.1	20.5	90			

* F_{exp} = Charge appliquée** F_{cal} = Charge calculée pour un déplacement de la lame de 10 mm.

Tableau 6.

**Comparaison des résultats obtenus avec les néoprènes A et B
et les méthodes d'essai de l'ITF et de l'IRSST**

Compagnie	Matériau	Méthode ITF		Méthode IRSST		
		Index	CV (%)	Charge (N)	Distance (mm)	CV (%)
FAIRPRENE	Néoprène (1,57 mm)	2,0	0	7,7	3,3	5,2
				3,7	7,7	10
FAIRPRENE	Néoprène (0,77 mm)	1,1	0	2,7	3,6	6,1
				1,45	22,3	24

La figure 13 à la page 22, présente l'ensemble des résultats obtenus avec les deux méthodes. Un calcul par régression linéaire démontre que la valeur du coefficient de corrélation r entre les résultats obtenus par les deux méthodes est de 0.90.

Les résultats présentés à la figure 13 montrent que la corrélation entre les résultats obtenus par les deux méthodes est meilleure avec les matériaux ayant une résistance faible à la coupure. Cependant, pour des matériaux ayant une résistance élevée à la coupure, la situation devient plus complexe. En effet, avec la méthode ITF, la dégradation de la lame peut influencer les résultats des tests de coupure. Pour analyser ce problème, nous avons réalisé une série d'essais avec des matériaux renforcés ayant une résistance à la coupure élevée.

La dégradation de la lame dans le test de l'ITF

Pour mettre en évidence l'effet de la dégradation de la lame pendant le test avec la méthode de l'ITF, une série d'essais a été réalisée sur un matériau Spectra® renforcé en fibre de verre. Les résultats sont présentés au tableau 7.

Au début de la série d'essais, la coupure du coton de référence avec une nouvelle lame a été obtenue en 0,8 cycle. Ensuite, la lame a effectué 50 cycles sur le matériau Spectra® sans le couper. Après cela la lame a été vérifiée avec le coton de référence et le nombre de cycles obtenu était de 25,5. La même procédure a été répétée 10 fois jusqu'à ce que la coupure du matériel se produise à 558 cycles.

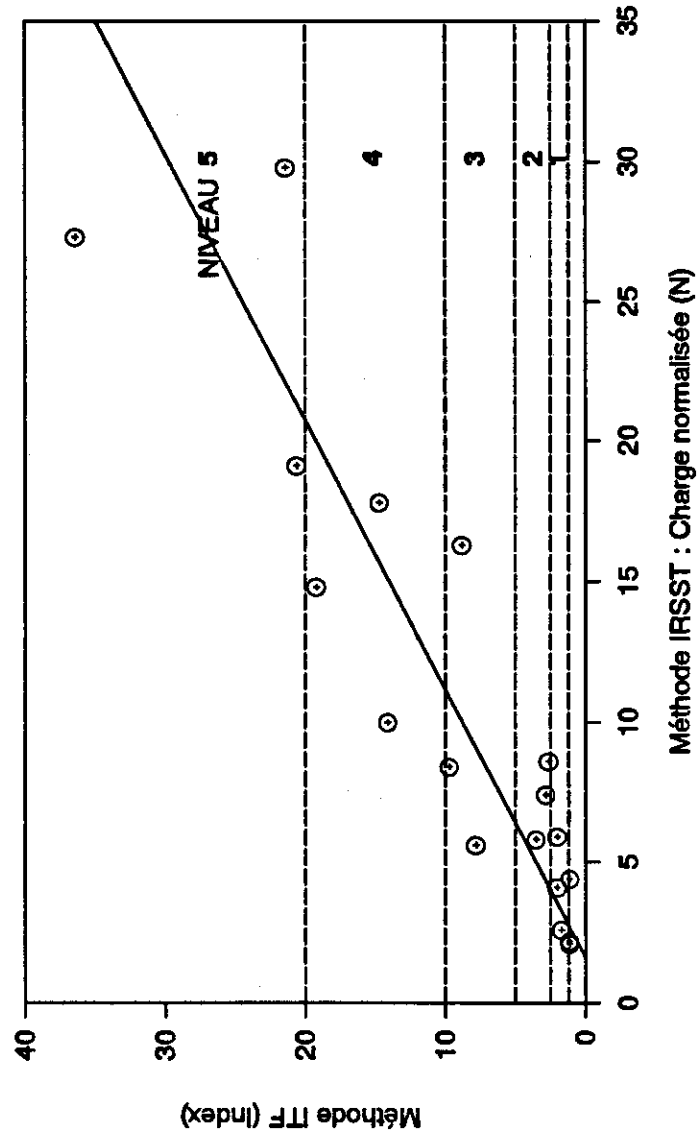


Figure 13. Comparaison des résultats obtenus par les méthodes ITF et IRSST

Tableau 7

**Dégradation de la lame lors d'un test de coupure avec la méthode ITF
 sur un gant renforcé en fibre de verre**

C_n	T_n^*	C_{n+1}
0,8	50	25,5
25,5	50 - 100	24,2
24,2	100 - 150	27,3
27,3	150 - 200	24,4
24,4	200 - 250	23,4
23,4	250 - 300	29,3
29,3	300 - 350	27,4
27,4	350 - 400	27,2
27,2	400 - 558 (coupure)	28,1

- T_n^* = nombre de cycles de la lame sans coupure du gant
- C_n = nombre de cycles de la lame pour couper le coton avant un test sur le gant
- C_{n+1} = nombre de cycles de la lame pour couper le coton après un test sur le gant

L'analyse des résultats du tableau 7 démontre que la dégradation de la lame s'est produite dans la première série de l'essai. Une fois que la lame est dégradée, son état demeure pratiquement inchangé lors des essais subséquents. À cet égard, la norme EN 388 dit que si le test donne plus de quatre cycles sur le coton, la lame doit être remplacée s'il agit d'un gant de faible résistance (niveaux 1-3). Dans le cas d'un matériau ayant une bonne résistance à la coupure, soit les niveaux 4 et 5, la norme spécifie que la lame doit être remplacée si le nombre de cycles sur le coton est > 2 après l'essai sur le matériau. Le fait que la dégradation du tranchant de la lame se produise au début de l'essai avec le matériau renforcé, démontre que la méthode ITF n'est pas adaptée pour évaluer ce type de matériau.

Le tableau 8 présente un autre exemple des résultats d'une série de tests réalisés avec un gant Whizard, fait en fibres Kevlar et Spectra® renforcées avec des fils d'acier.

Tableau 8

Exemple de résultats obtenus avec un gant Whizard avec la méthode ITF

Gant	Matériau	Lame #	C_n	T_n	C_{n+1}	I_n
Whizard modèle Knifhandler	Fibres Kevlar + Spectra® renforcées avec fils d'acier	94	1,4	12,0	3,4	6,0
		95	1,2	70,6	5,6	22,4
		96	0,8	29,9	5,9	10,1
		97	0,8	54,8	5,5	18,7
		98	0,8	40,2	5,2	14,6
Index I = 14,4						

- T_n = nombre de cycles de la lame sans coupure du gant
 C_n = nombre de cycles de la lame pour couper le coton avant un test sur le gant
 C_{n+1} = nombre de cycles de la lame pour couper le coton après un test sur le gant
 I_n = index pour une série d'essais
 I = index moyen pour cinq séries d'essais

Les résultats de ce tableau démontrent encore une fois, que la dégradation de la lame est plus importante que celle permise par la norme. En conséquence, la lame doit être remplacée à chaque essai. Cependant, comme il a été démontré dans l'exemple précédent, la dégradation de la lame se produit au début de l'essai. De ce fait, la validité de ces résultats est incertaine.

L'autre difficulté que présente la méthode de l'ITF est celui de la charge appliquée. Il a déjà été mentionné dans la première partie de ce rapport, qu'il n'est pas possible d'évaluer la résistance à la coupure de tous les matériaux, indépendamment de leur niveau de résistance, en utilisant un seul type de charge. La charge de 5 N utilisée dans la méthode ITF semble adéquate pour des matériaux ayant une résistance intermédiaire. Cette charge est trop élevée pour les gants ayant une faible résistance à la coupure et trop faible pour les matériaux ayant une résistance élevée à la coupure.

Dans le cas des matériaux ayant une résistance élevée à la coupure, la lame doit faire beaucoup de tours sur le matériau pour produire la coupure. La lame ayant été dégradée au début de l'essai, il faut se questionner sur le type de phénomène qui cause la rupture du matériau; coupure ou bien usure du matériau causée par le passage répété du tranchant dégradé de la lame?

4.3 Le niveau de résistance à la coupure des gants de protection

Indépendamment du fait qu'il existe quelques différences entre les résultats des mesures faites avec les méthodes de l'IRSST et de l'ITF, la classification du niveau de résistance à la coupure des gants demeure approximativement la même, à quelques exceptions près.

Le tableau 5 montre que les gants faits dans des matériaux tels que le nitrile doublé (et aussi les non doublés), le viton non doublé et le néoprène non doublé, n'ont aucune résistance à la coupure. Ces gants ne peuvent être classés suivant la norme EN 388. Des gants faits en cuir (doublé ou non doublé) et en caoutchouc naturel doublé, ont une très faible résistance à la coupure et se classent au niveau 1. Des

gants plus épais faits en caoutchouc naturel doublé et en nitrile doublé en coton et Kevlar, ont une faible résistance à la coupure et se classent au niveau 2. Des gants faits en fibres de polyester renforcées avec des fils d'acier, avec un mélange de polyester et coton, ou en nitrile, doublés avec du coton et Kevlar, ont une résistance moyenne à la coupure moyenne et se classent au niveau 3.

Aux niveaux supérieurs, soit les niveaux 4 et 5, se trouvent des gants ayant une bonne et très bonne résistance à la coupure. Dans ces niveaux se trouvent des gants faits en Kevlar et Spectra®, purs ou mélangés, et renforcés avec des fils d'acier ou des fils en fibre de verre.

Les résultats des tests démontrent que la résistance à la coupure pour différents types de matériaux se classent de la façon suivante, en ordre décroissant : fibres Spectra® et Kevlar renforcées avec fils d'acier ou fibre de verre > fibres Kevlar, Spectra® non renforcées > Nylon, Polyester > nitrile, néoprène, caoutchouc naturel, coton épais et cuir doublé > nitrile, néoprène, cuir et latex non renforcés.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

5.1. Sur la méthode d'essai développée

Une nouvelle méthode d'essai permettant d'évaluer la résistance à la coupure a été développée. Le principe de l'essai consiste à faire glisser une lame sur un échantillon sur lequel une charge est appliquée et à déterminer la distance parcourue par la lame au moment de la coupure. L'utilisation d'un système de levier permet d'appliquer une charge sur l'échantillon qui demeure constante pendant la durée de l'essai.

À l'aide du banc d'essai, il a été démontré que le tranchant de la lame se dégrade lorsque celle-ci est réutilisée. Cette dégradation a comme conséquence le fait que la distance parcourue par la lame pour produire la coupure augmente proportionnellement à l'usure de celle-ci. De plus, il a été démontré qu'il existe une relation exponentielle entre la diminution de la charge appliquée et l'augmentation du déplacement de la lame à la coupure. Ces informations ont permis de proposer une méthode d'évaluation de la résistance à la coupure qui consiste à déterminer la charge nécessaire pour couper le matériau pour un déplacement de la lame de 10 mm.

La méthode développée permet d'évaluer la résistance à la coupure de tous les types de matériaux synthétiques utilisés pour la fabrication des gants de protection industriels. Il s'agit donc d'ajuster la charge appliquée en fonction du niveau de résistance du matériau à la coupure.

La méthode développée élimine le problème causé par la dégradation de la lame, ce qui a été la principale cause des problèmes des bancs d'essai développés jusqu'à présent.

Le calcul par régression linéaire des résultats obtenus avec les méthodes de l'ITF et de l'IRSST avec 18 gants de protection et deux matériaux de référence donne un coefficient de corrélation r de 0.90.

La disparité des résultats obtenus avec les matériaux ayant une résistance élevée à la coupure, soit les niveaux 4 et 5, est attribuable à l'effet de dégradation de la lame dans le cas de la méthode ITF. La charge appliquée est trop faible pour ce type de matériaux, ce qui fait que le nombre de cycles de lames nécessaires pour produire la coupure est élevé, ce qui cause la dégradation de celle-ci.

Les résultats de cette étude ont démontré qu'il n'est pas possible d'évaluer la résistance des matériaux à la coupure en utilisant une charge unique. La charge appliquée doit être choisie en fonction du niveau de résistance du matériau à la coupure.

Recommandations sur la méthode d'essai

Il est recommandé d'utiliser les conditions expérimentales suivantes pour la réalisation d'un essai de coupure :

- la lame est celle de la compagnie American Safety Razor d'une longueur de 70 mm, modèle 88-0121;
- il est recommandé d'utiliser le néoprène de 1,57 mm d'épaisseur de la compagnie Fairprene comme matériau de référence pour évaluer la qualité des lames provenant de lots différents. Pour déterminer si un lot de lames est acceptable, il faudrait mesurer le déplacement de la lame pour provoquer la coupure du matériau de référence. Il est proposé de réaliser des tests avec trois lames par boîte pour une charge de, par exemple, 3,7 N. La coupure du matériau devrait se produire avec un déplacement de lame déterminé de, par exemple, $6 < d < 9$ mm. Si les valeurs obtenues sont différentes, le lot de lames devrait être rejeté. Cette étape de contrôle de qualité de la lame devra être précisée par des essais interlaboratoire sur le même type de matériau dans le processus de normalisation de la méthode d'essai.
- la vitesse de la lame est de 150 mm/min;
- le tranchant de la lame ne doit être utilisé qu'une seule fois au même endroit;
- le niveau de résistance à la coupure est déterminé par la charge nécessaire pour provoquer la coupure d'un matériau pour un déplacement de la lame fixe. Un déplacement de la lame de 10 mm est recommandé. Pour obtenir cette valeur, il faut faire un minimum de cinq essais avec au moins deux charges différentes; une série pour obtenir une valeur moyenne de déplacement de la lame de moins de 10 mm et une série pour obtenir une valeur moyenne de plus de 10 mm.
- Pour rendre la normalisation de la méthode d'essai viable, il est recommandé de mettre au point une version simplifiée du banc d'essai de laboratoire. Cet appareil doit tenir compte des éléments suivants :
 - La charge doit être appliquée verticalement sur l'échantillon. L'utilisation du système de levier pour appliquer la charge sur l'échantillon, qui a été mis au point dans cette étude, est recommandée;
 - La friction entre les différentes composantes de l'appareil simplifié doit être négligeable de façon à ce que le poids mis à l'extrémité du levier corresponde à la charge appliquée sur l'échantillon. L'appareil doit être capable de répondre à des différences de charges appliquées de 0.02 Newton;
 - La variable mesurée sera celle du déplacement de la lame pour une charge donnée. Le déplacement de la lame doit pouvoir être mesuré avec une précision de 0.1 mm.

5.2 Sur la résistance des gants à la coupure

Les gants fabriqués en cuir, en nitrile, en néoprène, en caoutchouc naturel et en PVC doublés et non doublés présentent en général une faible résistance à la coupure. Ces gants se classent aux niveaux 0, 1 et 2. Le fait d'avoir une doublure peut améliorer la résistance du gant à la coupure. Ainsi, un gant en cuir non doublé peut se classer au niveau 0 alors qu'un gant en cuir doublé peut se classer au niveau 1 ou 2.

Au niveau 3, se classent des gants fabriqués en fibres Polyester, Nylon, Kevlar et Spectra®.

Aux niveaux 4 et 5, se classent des gants fabriqués dans des fibres Kevlar et Spectra® renforcées avec des fils d'acier ou avec de la fibre de verre.

Il est à remarquer que, bien que les gants qui se classent aux niveaux 4 et 5 ont une bonne résistance à la coupure, il ne sont pas à l'épreuve de la coupure. De plus, il est à rappeler que la classification de la résistance des gants à la coupure est basée sur le comportement des matériaux dans des tests de laboratoire.

La classification des gants, selon le niveau de résistance à la coupure, facilitera le choix des meilleurs gants de protection. De plus, le port des gants mieux adaptés au type de risque, aura comme résultat une diminution du nombre et/ou de la gravité des lésions aux mains.

Recommandations aux fabricants

Il a déjà été mentionné au début de ce rapport que près de 30 % du total des lésions impliquant un arrêt de travail ont lieu aux membres supérieurs et particulièrement aux mains. Les lésions les plus courantes sont des piqûres et des coupures causées par la manipulation des outils et des pièces de métal ou objets coupants. Les gants de protection ayant une bonne résistance à la coupure n'offrent pas nécessairement une bonne résistance à la perforation. Étant donné que souvent dans les opérations industrielles, les risques mécaniques sont combinés, soit piqûres et coupures, il faudrait que les manufacturiers tiennent compte de ceci dans la fabrication des gants de protection.

Par exemple, un matériau ayant une bonne résistance à la perforation comme le nitrile, n'est pas résistant à la coupure. Inversement, un gant ayant une bonne résistance à la coupure, comme le gant de Kevlar renforcé avec fils d'acier, n'a aucune résistance à la piqûre. La combinaison des deux types de matériaux, dans un seul gant, l'un résistant à la coupure et l'autre à la perforation, serait une solution envisageable pour fabriquer des gants qui protègent contre les risques combinés.

Recommandations aux utilisateurs des gants de protection

La sélection des gants de protection contre les risques mécaniques doit être réalisée en fonction du type et du niveau de risque.

Ainsi, si le risque est seulement de coupure, la sélection des gants peut être réalisée en fonction de la classification des niveaux de résistance à la coupure présentée dans ce rapport.

Cependant, si le risque mécanique est combiné, soit de piqûre et de coupure, il faudrait tenir compte de la classification présentée dans ce rapport ainsi que les informations sur la résistance à la perforation. Sur ce dernier point, l'IRSST a publié en septembre 1992 un rapport intitulé «Développement d'une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection»⁽³⁾ (voir aussi référence 4).

Par exemple, si le risque mécanique de coupure et piqûre est faible, il est recommandé d'utiliser des gants résistant à la coupure des niveaux 1 et 2 faits en cuir, nitrile, néoprène, caoutchouc naturel ou en PVC, de préférence doublés. Les gants ayant la meilleure résistance à la perforation sont dans l'ordre, le nitrile, le néoprène, le caoutchouc naturel et le cuir.

Si le risque de coupure et de piqûre est élevé, il est recommandé d'utiliser des gants résistant à la coupure des niveaux 4 et 5 combinés avec des gants de nitrile néoprène ou caoutchouc naturel épais non doublés et résistant à la perforation.

L'utilisation de gants de protection adaptés aux risques mécaniques peut contribuer à diminuer le nombre

et/ou la gravité des accidents. Cependant, il n'existe pas de gants de protection qui soient à l'épreuve de n'importe quel type de risque mécanique.

6. RÉFÉRENCES

1. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec. Fichier sur les lésions professionnelles 1990-1991, mis à jour en février 1993. Montréal, Québec.
2. D. Champoux et M. Bourdouxhe, «Les accidents aux mains dans le secteur de la fabrication de produits en métal». Rapport de recherche, IRSST (1991).
3. J. Lara, N. Nélisse, S. Côté et H. Nélisse, «Développement d'une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection». Rapport IRSST, R-059, septembre 1992.
4. J. Lara, N. Nélisse, S. Côté et H. Nélisse, «Development of a Method to Evaluate the Puncture Resistance of Protective Clothing Materials», Performance of Protective Clothing, Fourth Volume, ASTM STP 1133, James McBriarty and Norma W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992. p. 26-37.
5. NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA). Gloves for structural fire fighters, Norme NFPA 1973 (1992).
6. R. Blocker et E. Rivet, «The Cut of the Cloth», Occupational Health and Safety, Canada, Vol. 9, p. 43-47 (1994).
7. Norme AFNOR. «Gants et moufles de protection contre les agressions mécaniques. Spécifications et essais». NF S 75-001 (1989).
8. F. Payot, «Measurement and Control Method for Cutting Resistance of Protective Gloves», Performance of Protective Clothing. Fourth Volume, ASTM STP 1133, James McBriarty and Norman W. Henry, Eds., American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1992.
9. W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky et W.T. Vetterling, «Numerical Recipes in C. The Art of Scientific Computing», Cambridge University Press, New York, NY (1989).