

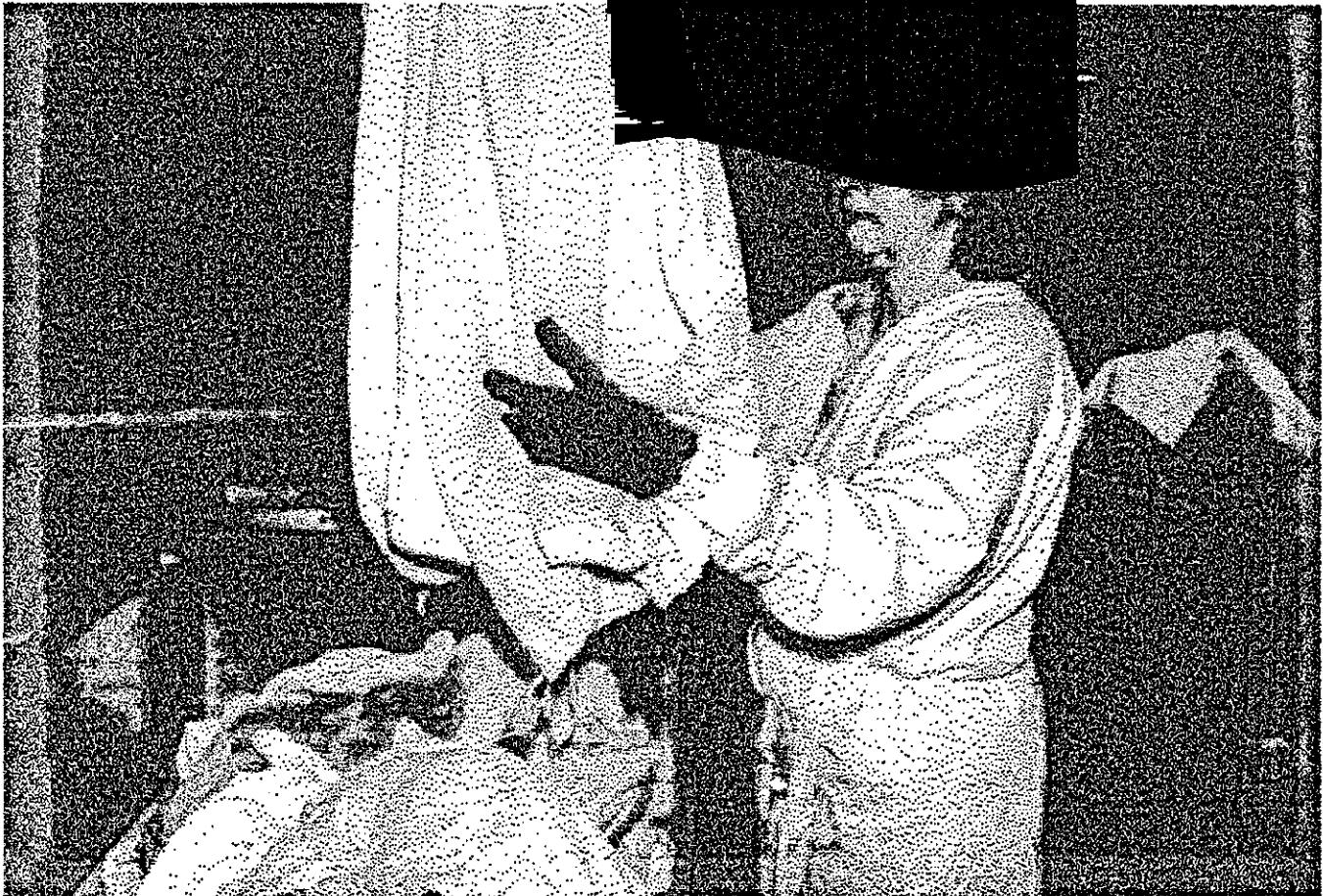
**Développement
d'une méthode d'évaluation
de la résistance
à la perforation
des gants de protection**



Jaime Lara

Septembre 1992 R-059

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,

**Développement
d'une méthode d'évaluation
de la résistance
à la perforation
des gants de protection**

Jaime Lara
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Avec la collaboration de
Nicolas Nélisse, Stéphane Côté
et Hugues Nélisse

RAPPORT

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

© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, mai 1993.

3^e trimestre 1992.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 LE CONCEPT DE BANC D'ESSAIS	2
3.0 PARTIE EXPÉRIMENTALE	2
3.1 La géométrie de la pointe	2
3.2 Le porte-échantillon	3
3.3 Les vitesses de déplacement des pointes	3
3.4 Les matériaux	3
4.0 RÉSULTATS	4
4.1 L'interprétation des résultats	4
4.2 Choix de géométrie des pointes	4
4.3 Essais de perforation avec des films de polyéthylène et de téflon	6
4.4 Essais de perforation avec du néoprène	7
4.4.1 L'effet de l'épaisseur du matériel	7
4.4.2 L'effet de la vitesse de la pointe	7
4.4.3 L'effet du diamètre de la pointe	8
4.4.4 L'effet du diamètre de l'ouverture des plaques du porte-échantillon ..	9
5.0 DISCUSSION	9
5.1 Essais de perforation avec du néoprène	9
5.1.1 L'effet de l'épaisseur du matériel	10
5.1.2 L'effet de la vitesse de la pointe	10
5.1.3 L'effet du diamètre de la pointe	10
5.2 Le choix de la géométrie de la pointe	11
5.3 Évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection	11
5.4 Classification des gants de protection	12
6.0 CONCLUSION	13

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉFÉRENCES14
LISTE DES TABLEAUX17
LISTE DES FIGURES23
ANNEXES31

1. INTRODUCTION

Les statistiques de la CSST démontrent que près de 30 % des lésions impliquant un arrêt de travail ont comme siège les membres supérieurs et plus particulièrement les mains. Ces lésions sont causées principalement par la manipulation des pièces métalliques et des outils. L'utilisation des gants de protection résistant à la coupure et à la perforation peuvent diminuer le nombre et la gravité de ces lésions.

Les utilisateurs des gants de protection doivent choisir le type de gant le mieux adapté au risque auquel ils sont exposés. Ce choix serait facilité par une classification des gants selon le niveau de résistance qu'ils offrent aux agresseurs mécaniques, en l'occurrence la piqûre et la coupure.

Les gants de protection sont fabriqués à base de polymères ou d'élastomères synthétiques ou naturels. Parmi les matériaux les plus utilisés, on retrouve le nitrile, le néoprène, le polychlorure de vinyle, le latex et le butyle. Ces matériaux peuvent être utilisés purs ou combinés avec des additifs, des plastifiants et des charges minérales. De plus, les gants de protection peuvent être munis d'une doublure intérieure en tissu. D'autres matériaux tels que des fibres de Kevlar[®], du polyéthylène orienté (Spectra[®]) et d'autres matériaux de haute technologie sont aussi utilisés dans la fabrication des gants. Ces fibres sont utilisées sous la forme de tricot, ce qui fait que malgré leurs excellentes propriétés mécaniques, les gants n'offrent pas de résistance à la piqûre et ils ne sont utilisés que pour se protéger de la coupure.

Présentement, il n'existe pas de méthode spécifique permettant d'évaluer la résistance des gants de protection contre ces types d'agresseurs. Pour cette raison, nous avons entrepris depuis quelques années, une étude afin de développer une méthode pour évaluer la résistance à la perforation et une autre méthode pour évaluer la résistance à la coupure.

Dans le cas de la coupure, un prototype de banc d'essai a été développé. Cette étude se poursuit actuellement avec la validation du banc d'essai et avec la comparaison avec d'autres bancs d'essai en développement en France et aux États-Unis. Dans le cas de la perforation, nous avons réussi à développer une méthode qui est décrite dans ce rapport.

Le but de cette étude était de mettre au point un banc d'essais et d'établir les conditions dans lesquelles un essai de perforation devrait être réalisé. C'est ainsi que nous avons caractérisé systématiquement les différentes variables ayant une influence dans un essai de perforation (e.g. géométrie des pointes, diamètre des pointes, vitesse de déplacement des pointes). Comme résultat de l'étude, un montage expérimental a été construit et mis en essai. La fiabilité du banc d'essais a été établie et les conditions de réalisation des essais de perforation ont été proposées.

À l'aide de cette méthode d'essai, nous avons évalué la résistance des gants de protection commercialement disponibles et nous avons proposé une classification en fonction du niveau de résistance à la perforation.

2. LE CONCEPT DU BANC D'ESSAIS

Une revue de la littérature a permis d'établir qu'il existait un grand nombre de méthodes pour évaluer la résistance à la perforation (1-22). La plupart de ces méthodes sont utilisées pour évaluer les propriétés des matériaux divers tels que les semelles de chaussures et des pièces de plastique (1-5, 7-9, 12-22). D'autres méthodes servant à évaluer des gants de protection ne sont applicables qu'à des cas particuliers (6,10,11). Dans l'annexe A à ce rapport, les tableaux A-1 à A-3 présentent des résumés des méthodes d'essais pour évaluer la perforation pour différents types de matériaux. Le type de pointe utilisée, le principe de la méthode et le type de matériau sont indiqués dans ces tableaux. Une discussion détaillée des méthodes a été publiée dans un rapport d'avancement (23).

Suite à l'analyse des informations trouvées dans la littérature, nous avons conclu qu'aucune de ces méthodes ne peut être utilisée pour évaluer l'ensemble des gants de protection. De plus, cette analyse nous a permis d'établir un concept de banc d'essais pour évaluer la résistance des gants de protection à la perforation (23). Ce banc devrait être installé dans une machine servant à évaluer les propriétés mécaniques des matériaux travaillant en compression et permettre de réaliser des tests à des vitesses contrôlées. La pointe devrait être fixée directement à une cellule de force, le tout fixé au bras mobile de la machine. Le support d'échantillon devrait être fixé à la base de la machine.

3. PARTIE EXPÉRIMENTALE

La figure 1 est un schéma du banc d'essais mis au point. Ce montage est installé dans une machine Instron modèle 1137. La cellule de force travaille en compression, a une capacité de 890 Newtons et le modèle est le 2511-214 de la compagnie Instron. Tel que montré dans la figure, la cellule de force est attachée au bras mobile de la machine Instron. La pointe pour réaliser les tests de perforation est fixée directement à la cellule de force.

3.1 La géométrie de la pointe

Les géométries des pointes utilisées dans cette étude sont présentées à la figure 2. Trois types de géométrie ont été utilisés : la pointe tronçonnée est représentée à la figure (a), la pointe hémisphérique est représentée à la figure (b) et la pointe conique est représentée à la figure (c). Dans le cas des pointes hémisphériques, les diamètres des tiges étaient de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm. Dans le cas des pointes tronçonnées, les diamètres de tiges étaient de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm. En ce qui concerne la géométrie conique, une pointe ayant un

diamètre de tige de 2,5 mm, un angle de 26° et un diamètre de l'extrémité de la pointe de 0,75 mm a été utilisée. Toutes les pointes ont été fabriquées en acier et elles étaient d'une dureté (Rockwell Hardness) de 40.

3.2 Le porte-échantillon

Le porte-échantillon conçu à l'IRSSST est présenté à la figure 3. Il est constitué de deux plaques parallèles en acier de 10 mm d'épaisseur. Une des plaques est fixée à la base du porte-échantillon tandis que l'autre plaque est reliée à quatre pistons pneumatiques. Le système est raccordé à un circuit d'air comprimé ayant une pression de 60 psi. Ceci permet de lever ou descendre la plaque mobile très rapidement et d'appliquer une pression uniforme à la pièce d'échantillon à évaluer. Au centre des plaques, une ouverture circulaire est pratiquée pour permettre le passage de la pointe lors des essais de perforation. Le bord de l'ouverture a été arrondi afin d'éviter l'effet d'arêtes. Le diamètre de l'ouverture utilisée dans cette étude a été de 2,5 cm. Cependant, nous avons réalisé des essais avec des plaques ayant une ouverture de 1 cm de diamètre avec du néoprène, pour évaluer l'effet du diamètre de l'ouverture sur les résultats.

3.3 Les vitesses de déplacement des pointes

Chaque essai de perforation a été réalisé à une vitesse de déplacement de la pointe constante. Les vitesses de déplacement des pointes utilisées varient entre 10 mm/min et 500 mm/min.

3.4 Les matériaux

Du néoprène de trois épaisseurs, 0,41 mm, 0,79 mm et 1,57 mm dont le numéro de stock était NS 5550 fourni par la compagnie Fairprene (Fairprene Industrial Products Company Inc., 85 Mill Plain Rd., Fairfield, CT 06430, USA) a été utilisé. Ces matériaux ont été sélectionnés comme référence par le Comité F-23 sur le vêtement de protection (28) de l'ASTM (American Society for Testing and Materials).

De plus, des films de polyéthylène de 0,18 mm et 0,30 mm d'épaisseur et un film en téflon de 0,17 mm d'épaisseur de la compagnie 3M ont été évalués. Finalement, le type de pointe et les conditions expérimentales pour la réalisation des essais ont été établis. La résistance à la perforation de 92 modèles de gants de protection les plus utilisés au Québec a été évaluée. Ces gants couvrent pratiquement tous les modèles de gants de protection produits ou distribués au Québec et ils ont été fournis par les fabricants Taskall, Edmont et Best.

Pour chaque couple condition expérimentale/matériel, les essais ont été répétés dix fois et le traitement des données a été réalisé à l'aide du logiciel de la compagnie Instron (Instron Pro-File, série IX, version 4.0).

4. RÉSULTATS

4.1 L'interprétation des résultats

Dans ce rapport nous avons défini la résistance à la perforation comme étant la force maximale mesurée lors du déplacement de la pointe en contact avec le matériel.

Afin de mieux comprendre le type d'information obtenue lors d'un essai de perforation, nous allons le décrire brièvement. Lorsque la pointe entre en contact avec le matériel, la force augmente proportionnellement au taux de déplacement de la pointe jusqu'à une valeur maximale. Cette valeur ne correspond pas nécessairement à la force au moment de la perforation du matériel. Ceci est surtout valable dans le cas des matériaux plastiques tels que le polyéthylène, pour lequel la force augmente lors du déplacement de la pointe, passe par un maximum pour ensuite diminuer lorsque le matériel se déforme avant de se perforer.

Les figures 4 et 5 représentent des exemples graphiques des résultats obtenus lors des essais de perforation avec néoprène (matériel type caoutchouc) et avec polyéthylène (matériel type plastique). La figure 4 représente le cas d'un essai de perforation avec néoprène de 0,41 mm d'épaisseur avec une pointe hémisphérique de 2,5 mm de diamètre et à une vitesse de déplacement de 100 mm/min. Dans cette figure nous pouvons voir que la force augmente proportionnellement avec le déplacement de la pointe jusqu'à une valeur maximale de 16.7 Newtons ce qui correspond à la force au moment de la perforation. La figure 5 représente un essai de perforation avec un film de polyéthylène de 0,30 mm d'épaisseur avec la même pointe et à la même vitesse de déplacement que l'exemple précédent. Dans ce cas, le maximum de la force est de 52.6 Newtons, ce qui ne correspond pas à la force au moment de la perforation du matériel qui est de 50.6 Newtons.

Le fait de considérer seulement la force maximale atteinte lors de l'essai de perforation a comme principal avantage de réduire le nombre de données. De plus, cette approche tient compte du comportement des matériaux polymériques du même type que le polyéthylène ci-haut présenté. Finalement, la sécurité des utilisateurs des gants de protection justifie ce type d'approche.

4.2 Choix de géométrie des pointes

À cette étape, des essais de perforation ont été réalisés avec des pointes de géométrie hémisphérique, tronçonnée et conique, et dont le diamètre des tiges étaient de 2,5 mm. Dans le cas de la pointe hémisphérique, l'extrémité de la pointe correspond à une demi-sphère de 2,5 mm de diamètre. Dans le cas de la pointe tronçonnée, l'extrémité correspond à un cylindre de 2,5 mm de diamètre. Finalement, dans le cas de la pointe conique, l'extrémité correspond à une sphère de 1,5 mm de diamètre.

Dans un premier temps, les essais ont été réalisés avec du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur à des vitesses des pointes de 10 mm/min, 100 mm/min et 500 mm/min. Les résultats des essais réalisés avec les trois géométries des pointes sont présentés au tableau 1.

À partir de l'analyse des résultats présentés au tableau 1, nous pouvons voir que les valeurs de force obtenues avec les pointes tronçonnées et hémisphériques sont équivalentes. Par exemple, la force avec du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur avec les pointes tronçonnée et hémisphérique à une vitesse de déplacement des pointes de 10 mm/min est, dans les deux cas, de 27,5 Newtons; la force à une vitesse de déplacement de 100 mm/min est de 32,9 Newtons avec la pointe tronçonnée et de 33 Newtons avec la pointe hémisphérique. De plus, nous pouvons constater dans ce tableau que les coefficients de variation sont très faibles et vont de 1,5 % à 3,2 %.

Dans le cas de la pointe conique, les valeurs de force sont environ trois fois plus basses et les coefficients de variation sont plus élevés, entre 4,2 % et 6,9 %, que les résultats des essais avec les deux autres pointes. Ceci peut être justifié par le fait que le bout de la pointe conique a un diamètre de 1,5 mm tandis que le diamètre des deux autres pointes est de 2,5 mm.

Les coefficients de détermination r^2 de la régression linéaire pour la relation Force vs \log_{10} de la vitesse de la pointe avec les trois types de pointe ont été calculés. Ces valeurs sont de 0,996, 0,983 et de 0,975 pour les pointes hémisphérique, tronçonnée et conique respectivement.

Ceci indique que la corrélation linéaire entre la Force et le \log_{10} de la vitesse de la pointe est moins satisfaisante pour la pointe conique que pour les deux autres pointes. De plus, la pointe conique présente certains inconvénients dont les suivants : la géométrie conique est difficile à atteindre et difficile à reproduire lors de la fabrication de la pointe; une détérioration de la qualité de la pointe a été observée à la suite d'un certain nombre d'essais, ce qui avait une influence sur la qualité des résultats.

En se basant sur ces faits, les géométries des pointes hémisphérique et tronçonnée ont été retenues pour la poursuite de l'étude car elles sont beaucoup plus faciles à fabriquer et elles assurent une meilleure reproductibilité des résultats.

En ce qui concerne le matériel, les résultats démontrent que la relation linéaire entre la Force et le \log_{10} de la vitesse de la pointe avec le néoprène de 0,79 mm d'épaisseur est bonne.

4.3 Essais de perforation avec des films de polyéthylène et de téflon

À cette étape, des essais de perforation avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre ainsi qu'avec deux films de polyéthylène de 0,18 mm et 0,30 mm d'épaisseur, et un film de téflon de 0,17 mm d'épaisseur ont été réalisés. Les trois vitesses des pointes étaient de 10 mm/min, 100 mm/min et 500 mm/min. Les résultats de ces essais sont présentés au tableau 2.

Le tableau 2 indique que la force pour percer ces matériaux varie très peu en fonction des vitesses de la pointe. Par exemple, les résultats obtenus avec le polyéthylène de 0,18 mm d'épaisseur et avec la pointe tronçonnée de 2,5 mm de diamètre varient entre 22,3 Newtons à la vitesse de la pointe de 10 mm/min et 22,9 Newtons à 500 mm/min. Ces variations sont plus importantes dans le cas du film de téflon, la force pour percer le matériel avec la pointe tronçonnée passant de 26,6 Newtons à la vitesse de 10 mm/min à 31,0 Newtons à 50 mm/min. Cependant, les coefficients de variation des résultats avec les films de polyéthylène et de téflon, sont en général plus élevés que les coefficients de variation des résultats avec du néoprène présentés au tableau 1. En effet, les essais faits avec la pointe tronçonnée, avec polyéthylène et téflon à 500 mm/min, donnent les coefficients de variation les plus élevés, soit respectivement 13,3 % et 11,6 %.

Les coefficients de détermination r^2 pour la relation Force vs \log_{10} vitesse de la pointe pour les résultats avec la pointe hémisphérique sont les suivants : 0,527 avec le film polyéthylène de 0,18 mm d'épaisseur; 0,847 avec le film de polyéthylène de 0,30 mm d'épaisseur; 0,921 avec le film de téflon de 0,17 mm d'épaisseur. Les coefficients de détermination r^2 pour les résultats avec la pointe tronçonnée sont de 0,926 et 0,915 respectivement pour les essais faits avec les films de polyéthylène de 0,18 mm et de 0,30 mm d'épaisseur, et de 0,915 pour les essais faits avec le film de téflon de 0,17 mm d'épaisseur.

Pour les pointes hémisphériques et tronçonnées, les valeurs des coefficients de détermination démontrent que dans la plupart des cas, la relation entre la force de perforation et \log_{10} de la vitesse de pointe est moins bonne avec les films de polyéthylène et de téflon qu'avec du néoprène. De plus, les coefficients de variation des résultats avec polyéthylène et téflon sont plus élevés que les coefficients de variation avec du néoprène. Ceci pourrait être attribuable à des hétérogénéités existant dans les matériaux (eg. cristallinité, composition, etc.). Pour ces raisons, les films de polyéthylène et de téflon ne sont pas à recommander comme matériel de référence.

4.4 Essais de perforation avec néoprène

4.4.1 L'effet de l'épaisseur du matériel

Les résultats des essais de perforation avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre avec du néoprène de 0,41 mm, 0,79 mm et de 1,57 mm d'épaisseur sont présentés dans cette section. Les essais ont été réalisés dans les mêmes conditions que ceux présentés dans la section précédente, soit à des vitesses de la pointe de 10 mm/min, 100 mm/min et 500 mm/min. Les résultats se retrouvent aux tableaux 1 et 3. Les figures 6 et 7 mettent en évidence le rapport entre la force à la perforation et l'épaisseur du matériel. À la figure 6, on a présenté les résultats obtenus à une vitesse de déplacement de la pointe de 10 mm/min tandis que les résultats présentés à la figure 7 ont été obtenus à une vitesse de déplacement de la pointe de 500 mm/min.

Les coefficients de détermination r^2 calculés à partir de la relation Force vs l'épaisseur du matériel, pour les essais réalisés à la vitesse des pointes de 10 mm/min rapportés à la figure 6, sont respectivement de 0,9995 et 0,9989 pour les pointes hémisphérique et tronçonnée. Les coefficients de détermination pour les essais réalisés à une vitesse de la pointe de 500 mm/min rapportés à la figure 7 sont respectivement de 0,9988 et 0,9962 pour les pointes hémisphérique et tronçonnée.

4.4.2 L'effet de la vitesse de déplacement de la pointe

Pour évaluer l'effet de la vitesse de déplacement de la pointe sur la force lors des tests de perforation, les résultats des tableaux 1 et 3 sont rapportés à la figure 8 en termes de force vs \log_{10} de la vitesse de la pointe. Dans ce cas, nous avons considéré les résultats des essais réalisés avec les trois épaisseurs de néoprène, à savoir 0,41 mm, 0,79 mm et 1,57 mm, avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre et à des vitesses de déplacement des pointes de 10 mm/min, 100 mm/min et 500 mm/min. La figure 8 montre qu'il existe une progression linéaire de la force pour perforer le matériel avec le \log_{10} de la vitesse de la pointe pour les deux types de pointe et ceci pour chaque épaisseur du néoprène.

Le calcul des coefficients de détermination r^2 de la régression linéaire Force vs \log_{10} de la vitesse de la pointe pour chacune des droites donne les résultats suivants : pour la pointe hémisphérique avec du néoprène 1,57 mm, $r^2 = 0,927$, avec du néoprène 0,79 mm, $r^2 = 0,983$, avec du néoprène 0,41 mm, $r^2 = 0,989$; pour la pointe tronçonnée avec du néoprène 1,57 mm, $r^2 = 0,987$, avec du néoprène 0,79 mm, $r^2 = 0,996$ et avec du néoprène 0,41 mm, $r^2 = 0,999$.

4.4.3 L'effet du diamètre de la pointe

L'effet du diamètre de la pointe a été évalué par des mesures de la résistance à la perforation du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur avec des pointes hémisphériques de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre de la tige, et des pointes tronçonnées de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre de la tige. Les essais de perforation ont été réalisés à cinq vitesses de pointes; 10 mm/min, 50 mm/min, 100 mm/min, 200 mm/min et 500 mm/min. Les résultats ont été rapportés au tableau 4. Aux figures 9 et 10, nous avons représenté deux exemples des résultats obtenus avec les pointes hémisphériques et tronçonnées à des vitesses des pointes de 100 mm/min et 500 mm/min. Ces graphiques montrent que la force pour percer le matériel augmente proportionnellement aux diamètres de la pointe et ceci pour les deux types de pointe.

Les coefficients de détermination r^2 de la régression linéaire Force vs diamètre de pointe pour les résultats obtenus aux différentes vitesses de déplacement de la pointe sont les suivants:

Vitesse de la pointe	r^2	
	Pointe hémisphérique	Pointe tronçonnée
10 mm/min	0,9980	0,9993
50 mm/min	0,9999	0,9999
100 mm/min	0,9961	0,9998
200 mm/min	0,9978	0,9999
500 mm/min	0,9940	0,9999

Les résultats présentés aux figures 9 et 10 ont été mis sous une autre forme aux figures 11 et 12 afin de vérifier, une fois de plus, la dépendance de la vitesse du déplacement de la pointe sur la force, cette fois-ci avec les différents diamètres des pointes. Les figures 11 et 12 présentent les valeurs de force vs le \log_{10} de la vitesse de la pointe.

La figure 11 montre quatre familles de courbes, chacune correspondant à un diamètre de la pointe hémisphérique. Pour chaque diamètre de pointe, il existe une bonne corrélation linéaire entre la force et le \log_{10} de la vitesse de la pointe. Les coefficients de détermination r^2 de la régression linéaire sont les suivants : 0,974 pour la pointe de 1,0 mm, 0,920 pour la pointe de 2,5 mm, 0,961 pour la pointe de 5,0 mm et 0,983 pour la pointe de 10,0 mm.

La figure 12 présente les résultats obtenus avec la pointe tronçonnée. Dans ce cas, on obtient aussi une droite pour chaque diamètre de la pointe. Les valeurs de r^2 de la régression linéaire sont de 0,972, 0,979 et 0,930 pour les pointes tronçonnées respectivement de 2,5 mm, 5,0 mm et 10 mm de diamètre.

Ces résultats confirment que la corrélation linéaire entre la force pour perforer un matériel et la vitesse de déplacement de la pointe est bonne, indépendamment du diamètre de la pointe entre 1 mm et 10 mm de diamètre.

4.4.4 L'effet du diamètre de l'ouverture des plaques du porte-échantillon

Des essais de perforation avec deux diamètres d'ouverture des plaques du porte-échantillon, soit de 1,0 cm et 2,5 cm, avec la pointe hémisphérique de 1,0 mm de diamètre ont été réalisés. Les vitesses de déplacement des pointes ont été de 50 mm/min, 100 mm/min et 200 mm/min et le matériel, du néoprène de trois épaisseurs, 0,41 mm, 0,79 mm et 1,57 mm. Les résultats de ces essais sont présentés au tableau 6. L'analyse des résultats permet de constater que l'effet de l'ouverture des plaques sur les résultats de perforation est négligeable pour les épaisseurs de 0,41 et 0,79 mm. On remarque une légère baisse de la force de rupture lorsque l'ouverture augmente de diamètre dans le cas du matériau de 1,57 mm d'épaisseur.

5. DISCUSSION

5.1 Essais de perforation avec du néoprène

Les résultats obtenus avec le néoprène de la compagnie Fairprene ont démontré la bonne reproductibilité des résultats obtenus avec le banc d'essais. La qualité du néoprène a déjà été mise en évidence dans des études précédentes (28,29). Les résultats démontrent que le néoprène de différentes épaisseurs est un bon choix pour évaluer l'effet des différentes variables pouvant avoir un effet sur les résultats des essais de perforation.

Globalement, les résultats des essais de perforation ont démontré qu'il existe de bonnes corrélations entre l'augmentation de la force nécessaire pour percer le matériel et l'augmentation de l'épaisseur de celui-ci, entre la force et le diamètre de pointes et entre la force et le \log_{10} de la vitesse de la pointe, et ceci pour les deux types de géométries de pointe utilisées. De plus, la reproductibilité des résultats est très bonne et les coefficients de variations sont toujours inférieurs à 4 %.

5.1.1 L'effet de l'épaisseur du matériel

Concernant l'effet de l'épaisseur du matériel, les figures 6 et 7 montrent que la force augmente de façon linéaire avec l'épaisseur du matériel, avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre. D'autre part, ces mêmes figures montrent que la force nécessaire pour percer le néoprène de 1,57 mm d'épaisseur avec la pointe hémisphérique est plus élevée que la force requise avec la pointe tronçonnée. Par contre, l'effet inverse est observé dans les essais de perforation avec le néoprène 0,41 mm d'épaisseur. Dans ce cas, la force nécessaire pour percer le matériau est légèrement plus grande avec la pointe tronçonnée qu'avec la pointe hémisphérique. Avec le néoprène 0,79 mm d'épaisseur, les forces obtenues avec les deux géométries de pointes sont pratiquement les mêmes (tableau 1). Ceci représente une différence dans le comportement des deux géométries de pointe. En effet, les pentes des droites qui relient la force et l'épaisseur des matériaux sont plus grandes pour les résultats avec la pointe hémisphérique que pour les résultats avec la pointe tronçonnée. Le calcul des valeurs de pentes des droites présentées aux figures 6 et 7 donnent les résultats suivants : à la vitesse de 10 mm/min, pour la pointe hémisphérique la pente est de 33,6 Newton/mm et pour la pointe tronçonnée la pente est de 40,5 Newton/mm; à la vitesse de 500 mm/min la pente pour la droite avec la pointe hémisphérique est de 30,8 Newton/mm tandis que pour la pointe tronçonnée la pente est de 36,6 Newton/mm. De ce fait, les résultats obtenus avec une pointe hémisphérique seront plus élevés que les résultats obtenus avec une pointe tronçonnée à des grandes vitesses de déplacement de la pointe. Inversement, à basses vitesses, les résultats avec une pointe hémisphérique seront plus petits qu'avec une pointe tronçonnée. Cependant, dans le cas des essais réalisés à une vitesse de 100 mm/min, aucune différence entre les résultats des deux géométries de pointe n'a été observée.

5.1.2 L'effet de la vitesse de la pointe

La figure 8 montre trois familles de courbes, une pour chaque épaisseur du néoprène, qui représentent l'augmentation de la force avec l'augmentation du \log_{10} de la vitesse de la pointe. Les coefficients de corrélation sont bons (voir section 4.4.2), ce qui confirme qu'il existe une progression linéaire de la force avec le \log_{10} de la vitesse de déplacement de la pointe pour un même type de matériel et la même pointe. Ceci indique qu'un essai de perforation pourrait être réalisé à n'importe quelle vitesse de la pointe entre 10 mm/min et 500 mm/min. Il s'agit donc dans cette étude de trouver les conditions optimales pour la vitesse de déplacement de la pointe en vue de réaliser un essai pour évaluer la résistance à la perforation des gants de protection.

5.1.3 L'effet du diamètre de la pointe

Les résultats des essais de perforation avec les différents diamètres des pointes hémisphériques et tronçonnées avec le néoprène de 1,57 mm d'épaisseur, ont été présentés au tableau 4.

Les coefficients de détermination r^2 présentés à la section 4.4.3, démontrent qu'il existe une bonne corrélation linéaire entre la force nécessaire pour perforer un matériel et le diamètre de la pointe, pour les deux géométries de la pointe. Ceci indique que dans les cas des matériaux des gants de protection qui ne sont pas doublés, le choix du diamètre de la pointe pour des essais de perforation n'est pas critique. Ainsi, la force à la perforation varie seulement en fonction de l'épaisseur ou de la qualité du matériel pour une vitesse de pointe donnée. De ce fait, indépendamment du diamètre de la pointe, l'essai de perforation permettra de développer une classification des matériaux en fonction de leur résistance à la perforation. Cependant, dans le cas des gants de protection doublés d'un tissu, le choix du diamètre de la pointe peut avoir une influence importante sur les résultats. En effet, lors des essais de perforation réalisés avec une pointe de grand diamètre, il existe le risque d'accrocher plusieurs fils du tissu de la doublure, ce qui risque de fausser les résultats concernant le niveau de résistance du matériel à la perforation comme nous le verrons dans la section 5.3.

5.2 Choix de la géométrie de la pointe

Comme il a été démontré qu'il existe de bonnes corrélations linéaires entre l'augmentation de la force pour percer le néoprène et le diamètre de la pointe, entre la force et l'épaisseur du néoprène et finalement entre la force et le \log_{10} de la vitesse de la pointe, nous avons combiné tous ces résultats pour tous les diamètres des pointes. Pour ce faire, nous avons calculé le coefficient de détermination entre la pente des droites (force vs diamètre de pointe) vs le \log_{10} de la vitesse des pointes, par régression linéaire. Ces données et les valeurs de r^2 obtenues par la régression linéaire sont présentées au tableau 5.

La meilleure corrélation linéaire est obtenue avec les pointes hémisphériques, r^2 étant 0,987 pour la pointe hémisphérique comparée à 0,868 pour la pointe tronçonnée. De ce fait, nous avons sélectionné la géométrie hémisphérique comme étant le meilleur type de pointe pour réaliser l'évaluation de la résistance des gants de protection à la perforation.

5.3 ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE À LA PERFORATION DES GANTS DE PROTECTION

Suite à l'étude faite pour sélectionner la meilleure géométrie de pointe et les conditions expérimentales pour réaliser les essais de perforation, on a évalué 92 modèles de gants de protection. Les conditions expérimentales ont été les suivantes :

Géométrie de pointe : hémisphérique
Diamètre de pointe : 1 mm et 2,5 mm
Vitesse de la pointe : 100 mm/min
Nombre d'essais par échantillon : 10 essais

Les essais de perforation pour les gants de protection ont été réalisés avec deux diamètres de pointes dans le but d'établir l'effet du diamètre de la pointe sur les résultats. Ces résultats serviront à proposer une classification des gants de protection selon le niveau de résistance à la perforation. La partie évaluée était la paume du gant et la distance entre chaque point de perforation était de 1,5 mm.

Les résultats sont présentés dans l'annexe B. Au tableau B-1 sont présentés les résultats pour la pointe de 1 mm de diamètre et au tableau B-2 pour la pointe de 2,5 mm de diamètre. Dans ces tableaux on a représenté par A les gants qui se trouvaient sur le marché lors de cette étude et qui provenaient d'une usine qui a fermé ses portes. Certains de ces modèles sont commercialisés présentement par un autre fabricant mais les résultats de ce rapport ne peuvent être considérés comme valables pour ces nouveaux gants et devraient être réévalués.

Aux tableaux B-1 et B-2, les gants ont été placés en ordre croissant de la résistance à la perforation. La comparaison des résultats avec la pointe de 1 mm de diamètre et la pointe de 2,5 mm de diamètre indique qu'il existe certains changements dans la classification. Des gants doublés en tissu, apparaissent comme étant plus résistants à la perforation lorsque les tests sont réalisés avec la pointe de 2,5 mm de diamètre, par rapport à ceux qui sont réalisés avec la pointe de 1 mm de diamètre. Par exemple citons le cas suivant : le gant en vinyle doublé, modèle 21-147 de la compagnie Edmont qui apparaît au niveau 17 parmi les gants moins résistants à la perforation lors des essais réalisés avec une pointe de 1 mm de diamètre, se retrouve au niveau 80, soit parmi les gants les plus résistants, lors des essais faits avec une pointe de 2,5 mm de diamètre. Ceci peut être expliqué par le fait que dans les tests réalisés avec la pointe de 2,5 mm d'épaisseur, celle-ci accroche des fils du support ce qui provoque une augmentation de la résistance à la perforation.

Les coefficients de variation des essais sur des gants doublés sont en général plus élevés que ceux obtenus avec les gants non-doublés. En effet, les résultats présentés aux tableaux B-1 et B-2 démontrent qu'il existe une très grande dispersion des résultats avec des coefficients de variation entre environ 3 % et 53 %. Ceci est explicable par le fait que les matériaux des gants de protection ne sont homogènes ni dans leur composition ni dans leur épaisseur. Malgré l'utilisation d'une pointe de faible diamètre, il existe toujours une possibilité que celle-ci accroche des fils du tissu de support. De plus, le matériel des gants doublés est moins homogène que celui des gants non doublés.

5.4 Classification des gants de protection

Suite à l'analyse des résultats, il est proposé d'établir une classification des gants de protection à cinq niveaux suivant les résultats des essais faits avec la pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre.

- Niveau 1 : très faible résistance à la perforation de 0 à 10 N
 Niveau 2 : peu résistant à la perforation > 10 N - 15 N
 Niveau 3 : résistance moyenne à la perforation > 15 N - 30 N
 Niveau 4 : bonne résistance à la perforation > 30 N - 50 N
 Niveau 5 : très bonne résistance à la perforation > 50 N

La plupart des gants de protection évalués lors de cette étude font partie des niveaux 1, 2 et 3. Quelques gants faits en néoprène et en nitrile se trouvent au niveau 4, et seuls les gants non doublés faits en nitrile le plus épais se trouvent au niveau le plus élevé.

Pour avoir un aperçu de la distribution de la résistance des gants en fonction de la classification proposée, nous présentons le tableau suivant :

NIVEAU	N° DES GANTS	%
Niveau 1	14	15
Niveau 2	17	18
Niveau 3	54	59
Niveau 4	6	6
Niveau 5	2	2

6. CONCLUSION

Une méthode d'évaluation de la résistance à la perforation a été développée. La géométrie de pointe hémisphérique a été trouvée la plus adéquate pour la réalisation des tests de perforation. Cette pointe a l'avantage d'être facile à fabriquer et risque moins que les autres types de géométrie de pointe d'être endommagée au cours des essais. Le diamètre de pointe choisi pour les essais est de 1 mm. La vitesse de la pointe recommandée est de 100 mm/min.

Les résultats obtenus lors des essais de perforation faits dans ces conditions avec les matériaux de référence sont très reproductibles avec des coefficients de variation inférieurs à 3 %.

Cette méthode nous a permis d'évaluer 92 modèles de gants de protection et de proposer une classification des gants en fonction du niveau de résistance à la perforation.

RÉFÉRENCES

- [1] Agarwal, S.R., "Puncture resistance of flexible materials", *Modern Packaging*, Vol. 46, 6, pp. 47-50 (1973).
- [2] Agarwal, S.R., and Kumta, U.S., "Puncture Resistance of Flexibles", *Modern Packaging*, Vol. 47, 10, pp. 43-45 (1974).
- [3] Malpass, V.E., "High Speed Puncture of ABS Plastics and Blends", *Applied Polymer Symposia*, Vol. 5, pp. 87-102 (1967).
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Methods of Testing Materials for use as Vapor Barriers under Concrete Slabs and as Ground Cover in Crawl Spaces, Standard E154, ASTM (1979).
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. High-speed Puncture Properties of Plastics using Load and Displacement Sensors, Standard D3763, ASTM (1986).
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Specification for Rubber Insulating Gloves, Standard D120, ASTM (1984).
- [7] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Chaussures de Sécurité à semelle anti-perforation, Standard S73-103, AFNOR (1977).
- [8] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Détermination de la Résistance à la Perforation par Enforcement, Standard G37-115, AFNOR (1975).
- [9] Dao, Kim C., "Toughness Evaluation of Blends of Polypropylene/ Crosslinked Rubber using the High-Speed Puncture Test", *Journal of Elastomers and Plastics*, Vol. 15, pp. 227-245 (1983).
- [10] Coletta, G.C., Schwope, A.D., Arons, I., King, J., and Sivak, A., "Development of Performance Criteria for Protective Clothing used Against Carcinogenic Liquids", Arthur D. Little, Inc., NIOSH report contract N° 210-76-0130 (1978).
- [11] BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC. Gants de Protection utilisés pour Combattre les incendies de Bâtiment, Standard 1923-750, BNQ (1984).
- [12] British Standard, Safety and Protective Footwear, Standard 953, BSI (1979).

- [13] Dozorisev, M.S. et Panchuk, F.O., "Puncture Testing of Rubbers", *Kauchuki Rezina*, Vol. 6 (1985), pp. 27-29.
- [14] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Résistance au choc par la méthode du poinçon tombant en chute libre, Standard T54-109, AFNOR (1973).
- [15] WNUK, A.J., WARD, T.C. et McGRATH, J.E. "Design and application of an instrumented falling weight impact tester", *Polymer engineering and science*, vol. 71, N° 6 (avril 1981).
- [16] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Détermination du comportement des plastiques rigides sous un choc multiaxial, Norme 6603, ISO (1985).
- [17] GONZALEZ, H. et STOWELL, W.J. "Development of an autographic falling-weight impact system", *Journal of applied polymer science*, vol. 20 (1976), p. 1389-1404.
- [18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Impact resistance of rigid plastics sheeting or parts by means of a tup, Norme D 3029, ASTM (1984).
- [19] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Détermination de la résistance à la perforation dynamique, Standard Q03-034, AFNOR (1968).
- [20] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Determination of Puncture Resistance, Standard 3036, ISO (1975).
- [21] BRITISH STANDARD Determination of the puncture resistance of board, Norme 4816, BSI (1972).
- [22] ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. Détermination de la résistance à la perforation, Standard T54-116, AFNOR (1973).
- [23] Nelisse, H. et Lara, J., "Résistance à coupure et à la perforation des gants de protection: Développement de tests normalisés", Rapport d'avancement, août 1987, IRSST.
- [24] Nelisse, N., et Lara, J., "Résistance à la perforation des gants de protection: Mise au point de la méthode et réalisation des tests", 2ième rapport d'avancement, août 1989, IRSST.
- [25] Côté, S., et Lara, J., "Résistance à la perforation des gants de protection: Classification des principaux modèles", 3ième rapport d'avancement, novembre 1989, IRSST.

- [26] Lara, J., Nelisse, N., Côté, S., and Nelisse, H., "Development of a Method to Evaluate the Puncture Resistance of Protective Clothing Materials", présenté au 4^{ième} Symposium International sur la Performance des Vêtements de Protection de l'ASTM: "Challenges for Developing Protective Clothing for the 1990s and Beyond", juin 1991, Montréal.
- [27] Lara, J., Nelisse, N., Côté, S., and Nelisse, H., "Development of a Method to Evaluate the Puncture Resistance of Protective Clothing Materials", à être publié dans Performance of Protective Clothing: Fourth Volume", ASTM STP 1133, James P. McBriarty and Norman W. Henry Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992.
- [28] American Society for Testing and Materials, "Resistance of Protective Clothing Materials by Liquids or Gases, Method F-739-85, Philadelphia, 1985.
- [29] Patton, G.L., Conoley, M., and Keith, L.H., "Problems in Determining Permeation Cell Equivalency", Performance of Protective Clothing: Second Volume", ASTM STP 989, Mansdorf/Sager/Nielsen Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988

LISTE DES TABLEAUX

- TABLEAU 1** Résistance à la perforation du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur avec les pointes hémisphérique, tronçonnée et conique
- TABLEAU 2** Résistance à la perforation des films de polyéthylène et téflon avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre
- TABLEAU 3** Résistance à perforation des néoprènes de 0,41 mm et 1,51 mm d'épaisseur avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre
- TABLEAU 4** Effet du diamètre de la pointe dans des essais de perforation avec néoprène 1,57 mm d'épaisseur avec les pointes hémisphérique et tronçonnée des différents diamètres
- TABLEAU 5** Coefficients de détermination pour la régression linéaire de la pente de la courbe "Force vs diamètre des pointes" en fonction du \log_{10} de la vitesse de la pointe
- TABLEAU 6** Effet du diamètre de l'ouverture des plaques de support du porte-échantillon sur la résistance à la perforation des néoprènes des différentes épaisseurs avec la pointe hémisphérique de 1,0 mm de diamètre

TABLEAU 1

Résistance à la perforation du néoprène de 0,79 mm d'épaisseur avec les pointes hémisphérique, tronçonnée et conique

Pointe	Diamètre de la pointe mm	Vitesse de la pointe mm/min	Force Newton	CV %
Tronçonnée	2,5	10	27,5	1,8
		100	32,9	2,4
		500	35,9	1,5
Hémisphérique	2,5	10	27,5	2,4
		100	33,0	2,2
		500	35,3	3,2
Conique	1,5	10	8,6	4,2
		100	10,5	5,2
		500	11,2	6,4

CV = coefficient de variation.

TABLEAU 2

Résistance à la perforation des films de polyéthylène et téflon avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre des tiges

Pointe	Matériel	Vitesse de la pointe mm/min	Force Newton	CV %
Hémisphérique	Polyéthylène épaisseur 0,18 mm	10	22,3	5,5
		100	22,2	4,0
		500	22,9	4,1
	Polyéthylène épaisseur 0,30 mm	10	47,4	1,0
		100	51,8	1,3
		500	51,9	5,0
	Téflon épaisseur 0,17 mm	10	21,9	3,5
		100	23,5	2,5
		500	26,6	5,8
Tronçonnée	Polyéthylène épaisseur 0,18 mm	10	29,5	2,8
		100	32,2	1,1
		500	32,7	3,3
	Polyéthylène épaisseur 0,30 mm	10	65,2	1,5
		100	68,4	0,6
		500	68,9	13,3
	Téflon épaisseur 0,17 mm	10	26,6	0,8
		100	30,4	1,5
		500	31,0	11,6

CV = coefficient de variation.

TABLEAU 3

Résistance à la perforation des néoprènes de 0,41 mm et 1,57 mm d'épaisseur avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre des tiges

Matériel	Pointes	Vitesse de la pointe mm/min	Force Newton	CV %
Néoprène 0,41 mm	Hémisphérique	10	13,9	3,0
		100	16,9	2,9
		500	18,3	1,8
	Tronçonnée	10	14,6	2,8
		100	17,3	2,4
		500	19,4	3,9
Néoprène 1,57 mm	Hémisphérique	10	53,3	1,7
		100	63,9	0,7
		500	65,9	1,9
	Tronçonnée	10	50,8	1,5
		100	59,0	1,0
		500	62,7	2,1

CV = coefficient de variation.

TABLEAU 4

Effet du diamètre de la pointe : essais réalisés avec des pointes hémisphérique et tronçonnée de différents diamètres avec du néoprène 1,57 mm d'épaisseur

Pointe	Diamètre mm	Vitesse de la pointe mm/min	Force Newton	CV %
Hémisphérique	1,0	10	25,9	3,4
		50	27,7	3,6
		100	29,2	2,2
		200	29,3	2,9
		500	31,0	3,1
	2,5	10	53,3	1,7
		50	60,7	2,2
		100	63,9	0,7
		200	65,5	2,9
		500	65,9	1,9
	5,0	10	107,9	1,3
		50	117,5	1,9
		100	130,7	2,5
		200	132,4	1,4
		500	144,0	1,9
	10,0	10	196,3	1,3
		50	226,7	2,2
		100	231,9	1,6
		200	241,2	2,2
		500	253,5	1,8
Tronçonnée	2,5	10	50,8	1,5
		50	54,8	1,6
		100	59,0	1,0
		200	59,5	1,6
		500	62,7	2,1
	5,0	10	98,8	0,8
		50	109,5	0,8
		100	115,8	1,3
		200	118,5	1,0
		500	122,2	1,7
	10,0	10	205,8	1,2
		50	222,6	0,5
		100	236,7	1,0
		200	238,3	1,0
		500	242,1	1,0

CV = coefficient de variation.

TABLEAU 5

Coefficients de détermination pour la régression linéaire de la pente de la courbe "Force vs diamètre des pointes" en fonction du \log_{10} de la vitesse de la pointe

Pointe	Vitesse de la pointe mm/min	Pente	r^2
Hémisphérique	10	19,0	0,987
	50	20,9	
	100	22,6	
	200	23,6	
	500	24,9	
Tronçonnée	10	20,8	0,868
	50	22,4	
	100	23,8	
	200	23,9	
	500	23,9	

TABLEAU 6

Effet du diamètre de l'ouverture des plaques de support du porte-échantillon sur la résistance à la perforation des néoprènes des différentes épaisseurs avec la pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre

Vitesse de la pointe mm/min	Épaisseur mm	Force (N) ouverture: 1,0 cm	CV %	Force (N) ouverture: 2,5 cm	CV %
50	0,41	6,6	3,1	6,7	4,3
	0,79	14,8	2,0	14,8	2,4
	1,57	30,9	1,8	28,4	2,9
100	0,41	7,0	1,9	7,0	1,6
	0,79	15,5	2,3	15,6	3,9
	1,57	32,0	1,6	30,9	1,9
200	0,41	7,3	2,0	6,9	2,1
	0,79	16,3	1,2	15,6	2,3
	1,57	32,6	1,5	31,0	1,7

CV = coefficient de variation.

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1** Schéma du banc d'essais pour la perforation
- FIGURE 2** Géométries des pointes pour la perforation;
a) Pointe tronçonnée, b) Pointe hémisphérique,
c) Pointe conique
- FIGURE 3** Porte-échantillons pour les essais de perforation
- FIGURE 4** Exemple d'un essai de perforation du néoprène 0,41 mm avec une pointe hémisphérique de 2,5 mm de diamètre à une vitesse de 100 mm/min
- FIGURE 5** Exemple d'un essai de perforation de polyéthylène 0,30 mm d'épaisseur avec une pointe hémisphérique de 2,5 mm de diamètre à une vitesse de 100 mm/min
- FIGURE 6** Force vs épaisseur du néoprène à une vitesse de la pointe 10 mm/min avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre
- FIGURE 7** Force vs épaisseur du néoprène à une vitesse de la pointe 500 mm/min avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre
- FIGURE 8** Force vs \log_{10} de la vitesse de la pointe avec des pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre avec du néoprène de trois épaisseurs
- FIGURE 9** Force vs diamètre de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et des pointes hémisphériques de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à des vitesses de 100 mm/min et 500 mm/min
- FIGURE 10** Force vs diamètre de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et des pointes tronçonnées de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à des vitesses des pointes de 100 mm/min et 500 mm/min
- FIGURE 11** Force vs \log_{10} vitesse de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et des pointes hémisphériques de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à différentes vitesses entre 10 mm/min et 500 mm/min
- FIGURE 12** Force vs \log_{10} vitesse de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et les pointes tronçonnées de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à différentes vitesses entre 10 et 500 mm/min

FIGURE 1. Schéma du banc d'essais pour la perforation

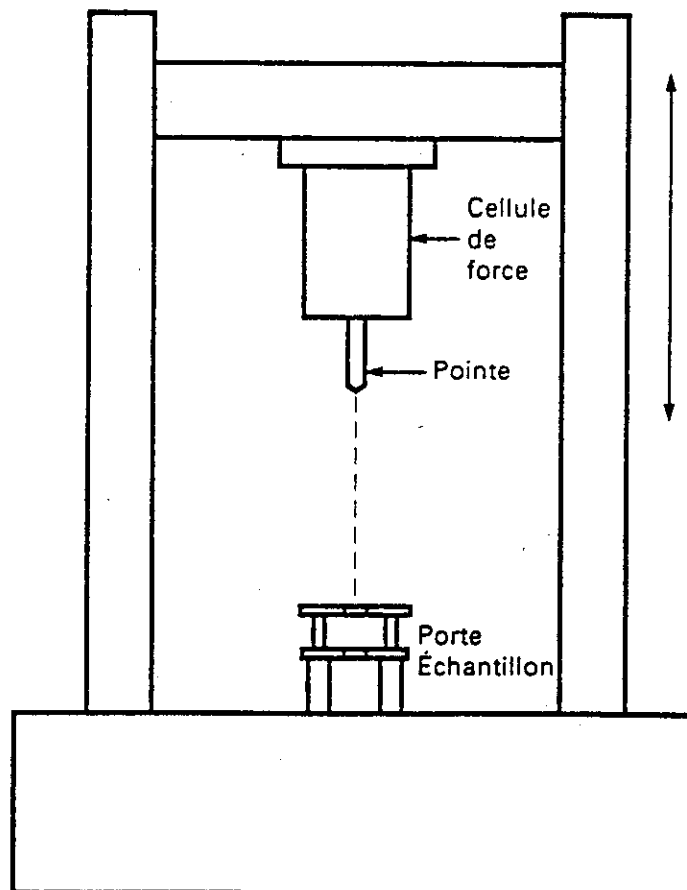


FIGURE 2. Géométries des pointes pour la perforation. a) Pointe tronçonnée, b) Pointe hémisphérique, c) Pointe conique

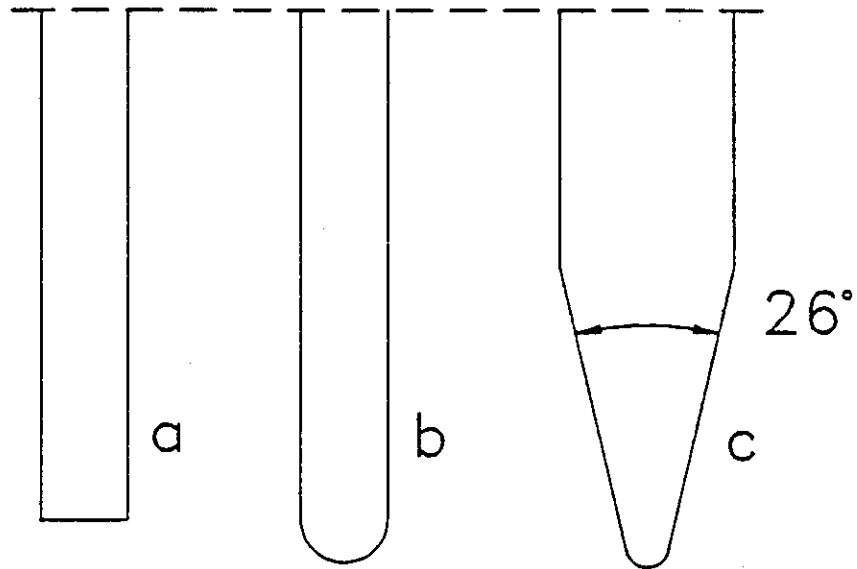


FIGURE 3. Porte-échantillons pour les essais de perforation

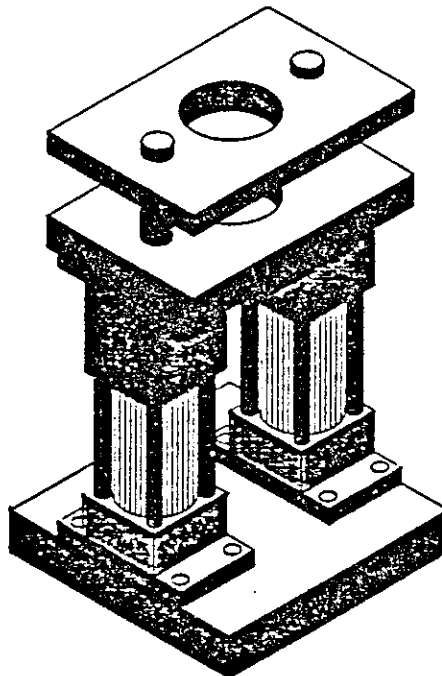


FIGURE 4. Exemple d'un essai de perforation du néoprène 0,41 mm avec une pointe hémisphérique de 2,5 mm de diamètre à une vitesse de 100 mm/min

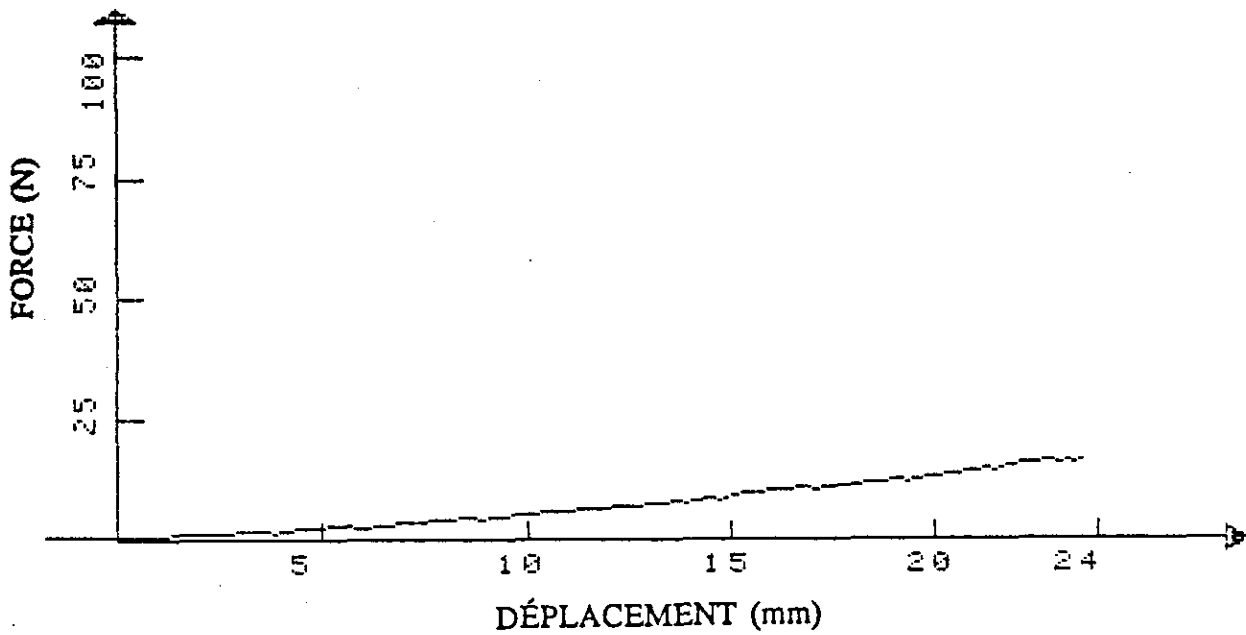


FIGURE 5. Exemple d'un essai de perforation de polyéthylène 0,30 mm d'épaisseur avec une pointe hémisphérique de 2,5 mm de diamètre à une vitesse 100 mm/min

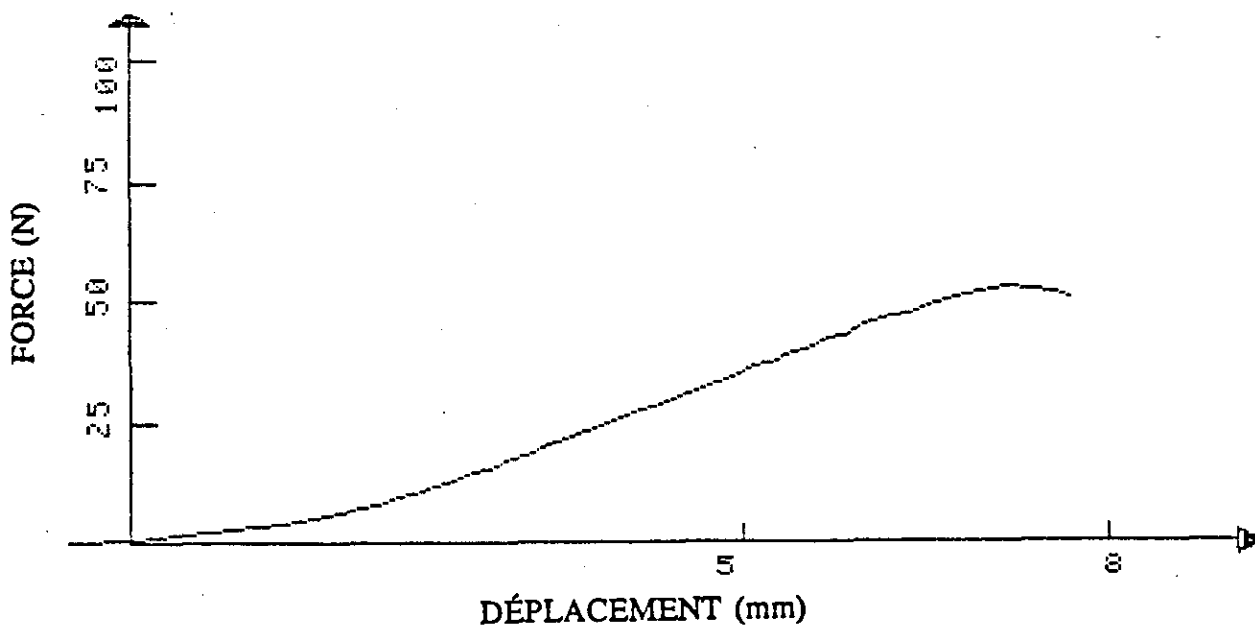


FIGURE 6. Force vs épaisseur du néoprène à une vitesse de la pointe 10 mm/min avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre

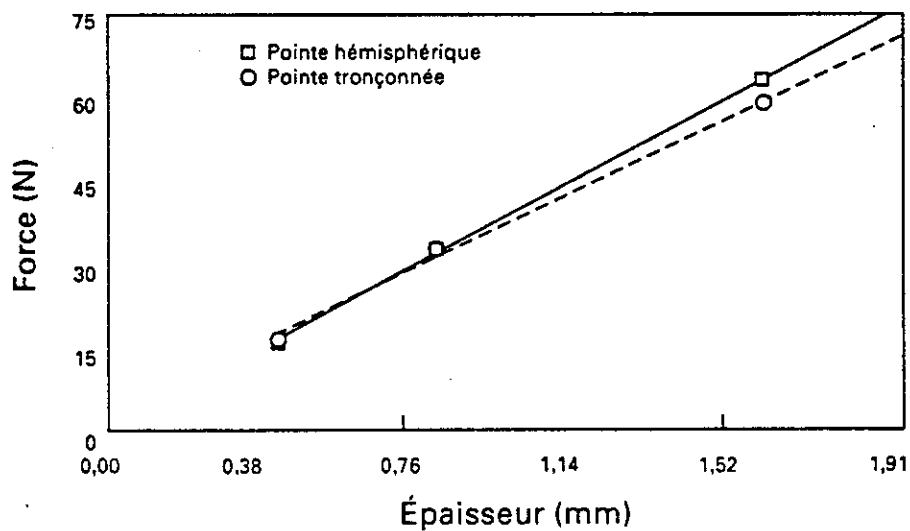


FIGURE 7. Force vs épaisseur du néoprène à une vitesse de la pointe 500 mm/min avec les pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre

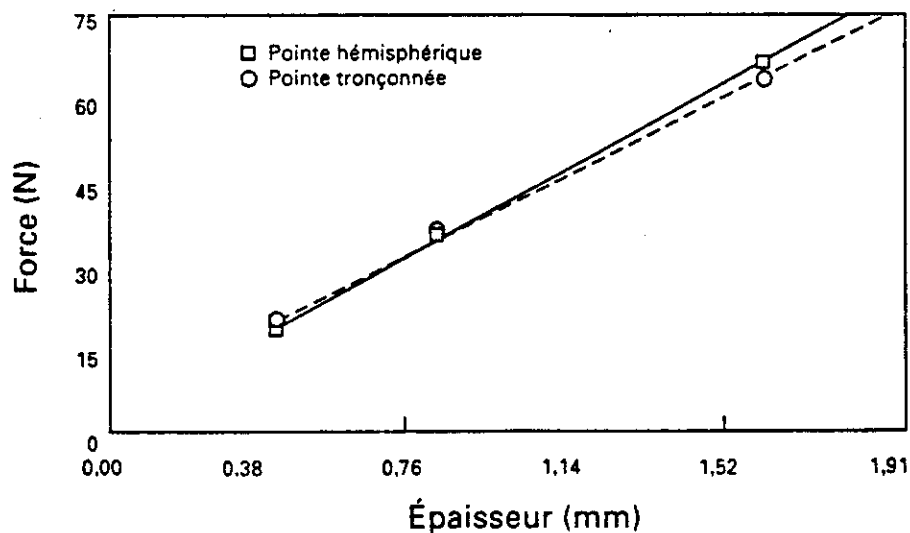


FIGURE 8. Force vs \log_{10} de la vitesse de la pointe avec des pointes hémisphérique et tronçonnée de 2,5 mm de diamètre avec du néoprène de trois épaisseurs

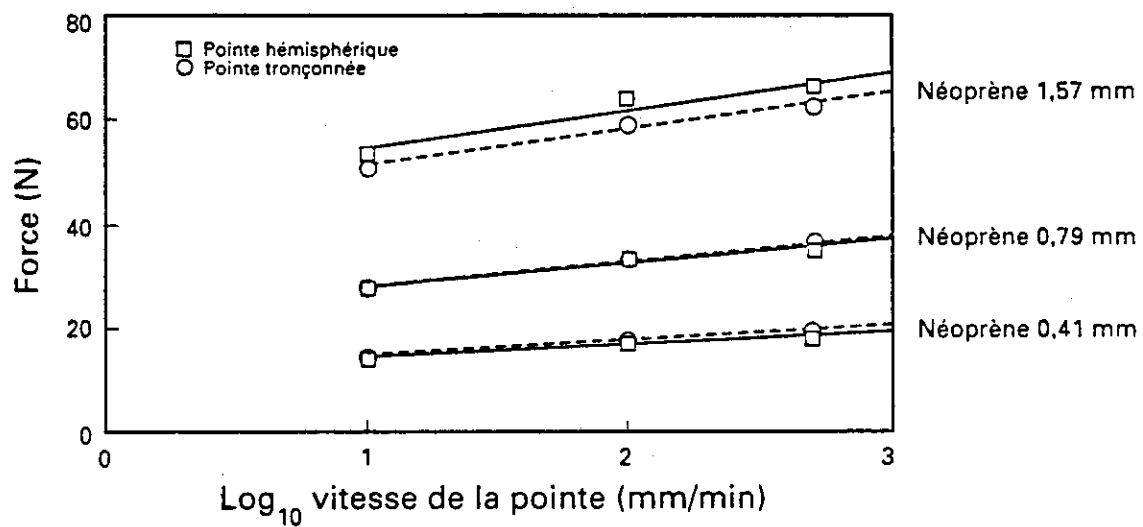


FIGURE 9. Force vs diamètre de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et des pointes hémisphériques de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à des vitesses de 100 mm/min et 500 mm/min

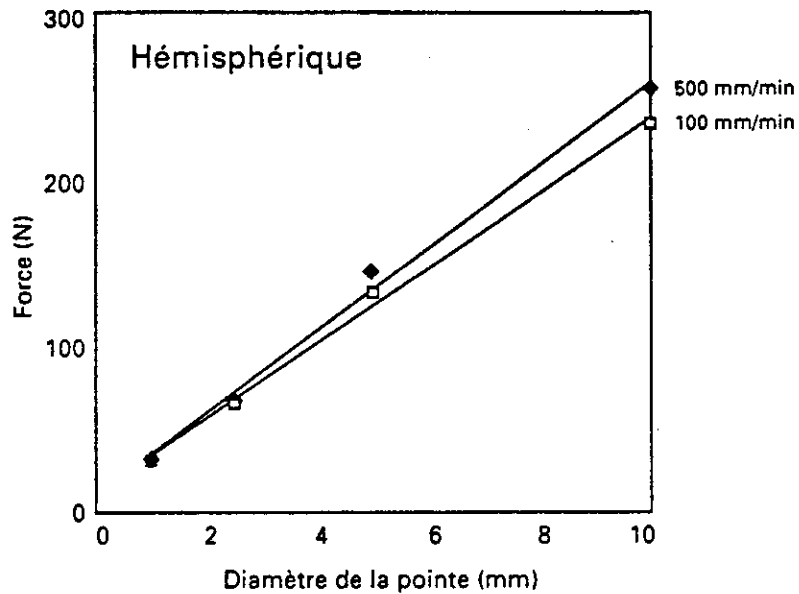


FIGURE 10. Force vs diamètre de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et des pointes tronçonnées de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à des vitesses de pointes de 100 mm/min et 500 mm/min

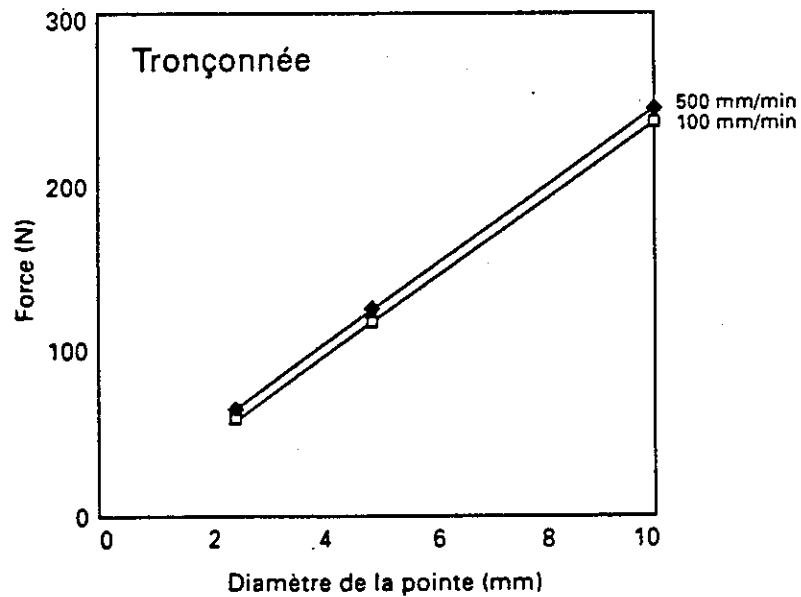


FIGURE 11. Force vs \log_{10} vitesse de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur avec des pointes hémisphériques de 1,0 mm, 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à différentes vitesses entre 10 mm/min et 500 mm/min

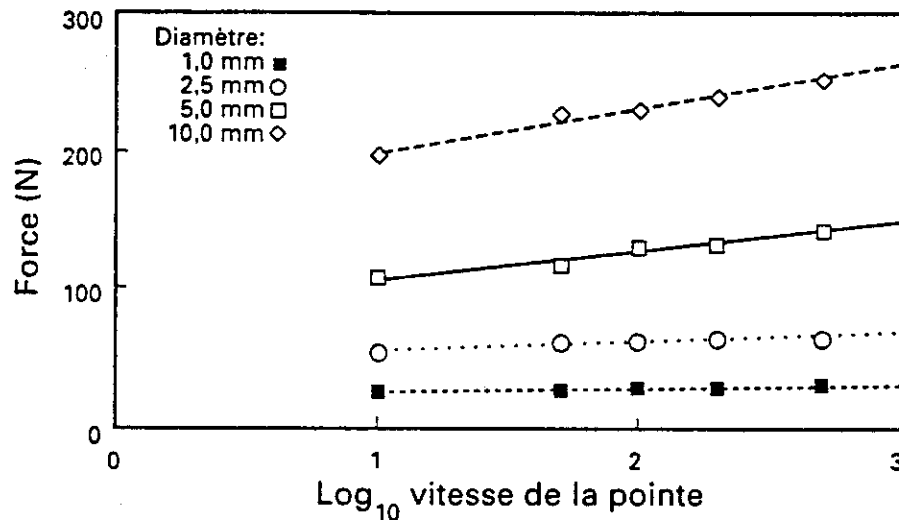
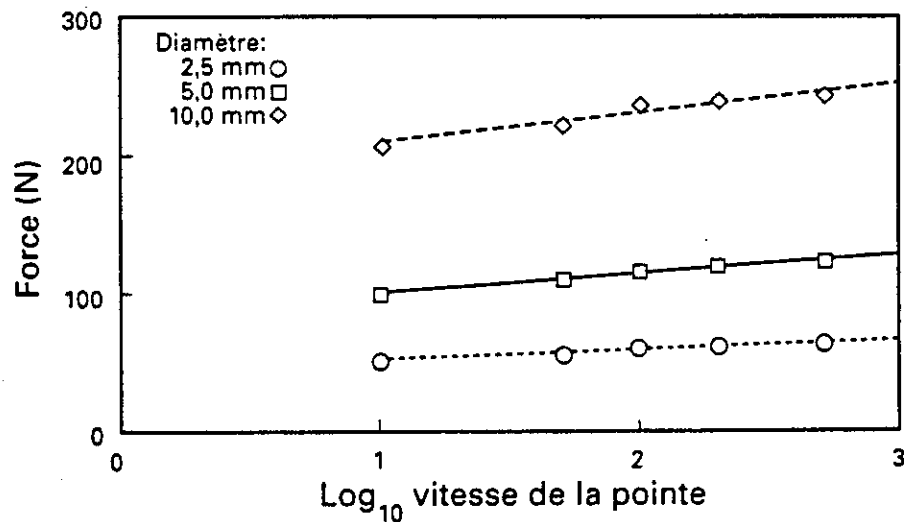


FIGURE 12. Force vs \log_{10} vitesse de la pointe avec du néoprène de 1,57 mm d'épaisseur et les pointes tronçonnées de 2,5 mm, 5,0 mm et 10,0 mm de diamètre à différentes vitesses des pointes entre 10 et 500 mm/min



ANNEXES

TABLEAU RÉSUMÉ A-1. MÉTHODE : COMPRESSION

NORME OU TEST	APPAREILLAGE	VITESSE	TYPE DE MESURE	MATÉRIEL TESTÉ	RÉF.
Article de périodique Puncture résistance et flexible	<ul style="list-style-type: none"> - Machine Instron en compression - Pointe cylindrique à bout plat ou aiguille 	5 cm/minute	Force et énergie maximales pour perforer l'échantillon	Matériaux flexibles	#1 et #2
Article de périodique High-speed puncture of ABS plastics and blends	<ul style="list-style-type: none"> - Machine Instron et Plastechon - Pointe hémisphérique 	0,1 à 10 pouces/minute 50 à 15000 pouces/minute	Force et énergie de perforation	Polymère ABS	#3
Norme ASTM E154 Standard method of testing materials for use as vapor barriers under concrete slabs and as ground cover in crawl spaces	<ul style="list-style-type: none"> - Machine de type Instron ou équivalent - Pointe hémisphérique 	6 mm/minute	Charge maximale	Films de plastiques "Asphalt-treated papers"	#4
Norme ASTM D3763 High-speed puncture properties of plastics using load and displacement sensors	<ul style="list-style-type: none"> - Machine en compression - Pointe hémisphérique 	2,5, 25, 125, 200 et 250 mètres/minute	Charge et déplacement	Plastiques - surtout des films	#5
Norme ASTM D120 Specifications for rubber insulations gloves	<ul style="list-style-type: none"> - Machine Instron en compression - Aiguille à bout arrondi 	8.3 mètres/seconde	Force maximale requise pour perforer l'échantillon	Gants d'électriciens en caoutchouc	#6
Norme AFNOR S73-103 Chaussures de sécurité à semelles anti-perforation	<ul style="list-style-type: none"> - Machine en compression - Pointe en acier à extrémité conique tronquée 	10 mm/minute	Force de perforation	Semelles de chaussures de sécurité	#7
Norme ASTM G37-115 Détermination de la résistance à la perforation par enfoncement	<ul style="list-style-type: none"> - Machine en compression - Bille en acier poli 	300 mm/minute	Force de perforation	Supports textiles revêtus de caoutchouc ou de matières plastiques	#8

TABLEAU RÉSUMÉ A-1. MÉTHODE : COMPRESSION (suite)

NORME OU TEST	APPAREILLAGE	VITESSE	TYPE DE MESURE	MATÉRIEL TESTÉ	RÉF.
Article de périodique Toughness evaluation of blends of polypropylene/cross-linked rubber using the high-speed puncture test	<ul style="list-style-type: none"> - Machine Instron en compression - Pointe hémisphérique 	0,05 à 47000 pouces/minute	Force, déplacement et énergie	Polymères-caoutchoucs	#9
Norme RNQ 1923-750 Gants de protection utilisés pour combattre les incendies de bâtiments	<ul style="list-style-type: none"> - Machine de type Instron ou équivalent - Pénétromètre 	50 cm/minute	Force maximale atteinte lors de la perforation	Gants de protection	#10 et #11
Rapport NIOSH N° 79-106 Development of performance criteria for clothing used against carcinogenic liquids					
Norme BSI 953 Safety and protective footwear	<ul style="list-style-type: none"> - Machine de type Instron ou équivalent - Clou d'acier à bout tronqué 	7 mm/minute à 13 mm/minute	Force maximale	Semelles de chaussures de sécurité	#12
Article de périodique Puncture testing of rubbers	<ul style="list-style-type: none"> - Appareil d'essai en compression - Pointe hémisphérique 	100 mm/minute	Force et déplacement	Caoutchouc	#13

TABLEAU RÉSUMÉ A.2. MÉTHODE : CHUTE LIBRE

NORME OU TEST	APPAREILLAGE	VITESSE	TYPE DE MESURE	MATÉRIEL TESTÉ	RÉF.
Norme AFNOR T54-109 Résistance au choc par la méthode du poinçon tombant en chute libre	- Pointe hémisphérique de 32 g (A) ou de 320 g (B) hauteur : 66 cm (A) et 152,4 cm (B)	-	Masse de rupture au choc	Matières plastiques - feuilles	#14
Article de périodique Design and application of an instrumental falling weight impact tester	- Poids à bout hémisphérique de 1317 g hauteur : 152,4 cm	-	Vitesse, accélération et déplacement	Polymères	#15
Norme ISO 6603 Détermination du comportement des plastiques rigides sous un choc multiaxial	- Pointe hémisphérique de masse variable hauteur : 0,3 à 2,0 mètres	-	Masse, énergie ou hauteur de rupture au choc	Plastiques rigides	#16
Article de périodique Development of an autographic falling-weight impact system	- Pointe hémisphérique de 2 à 10 livres hauteur maximale de 6 pieds	-	Force	Polymères	#17
Norme ASTM D3029 Impact resistance of rigid plastic sheeting or parts by means of a tup	- Trois pointes différentes (F) ou un percuteur à bout arrondi (G)	-	Masse, énergie et hauteur de rupture au choc	Feuilles de plastique rigides	#18

TABLEAU RÉSUMÉ A-3. MÉTHODE : PENDULE

NORME OU TEST	APPAREILLAGE	VITESSE	TYPE DE MESURE	MATÉRIEL TESTÉ	RÉF.
<p>Norme AFNOR Q03-034 Détermination de la résistance à la perforation dynamique Norme 150 3036 Determination of puncture resistance Norme B51 4816 Determination of the puncture resistance of board</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pendule - Tête perforante pyramidale 	-	Énergie	Carton	#19 #20 #21
<p>Norme AFNOR T-54-116 Détermination de la résistance à la perforation</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pendule - Percuteur hémisphérique 	-	Énergie	Matières plastiques - feuilles	#22

TABLEAU B-1 Évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection avec une pointe hémisphérique de 1 mm de diamètre

GANTS			POINTE 1mm			GANTS			POINTE 1mm					
MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	§ C.V.	MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	§ C.V.	MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	§ C.V.
Latex Nat*	Ansell	832	4.7	17.5	Nitrile**	Edmont	32-105	18.1	5.9					
Rubber*	Edmont	36-124	6.7	3.3	PVC**	A	1814	18.7	2.4					
Latex Nat*	Ansell	343	6.9	9.1	Nitrile**	Edmont	47-400	18.8	9.2					
Néoprène**	Ansell	530	7.1	15.2	Nitrile**	Best	7166	18.9	20.6					
Latex Nat*	Best	700	7.7	7.0	PVC**	Edmont	725-R	19.2	10.3					
Néoprène*	Ansell	540	7.8	8.5	Latex	Edmont	66-507	19.5	15.9					
Latex omni*	Ansell	276	7.9	8.5	Nitrile**	Edmont	40-105	19.6	9.4					
Latex*	Ansell	40	8.4	10.9	Latex*	A	01-1860	19.8	5.7					
Neo+latex*	Ansell	100	8.8	12.8	Néoprène*	Edmont	01-1233	19.8	3.9					
Latex*	Ansell	254	8.9	7.4	Rubber**	Edmont	16-300	20.0	8.8					
Neo/Latex*	Ansell	224	9.3	8.6	PVC**	A	1312wg	20.0	5.4					
Néoprène*	A	01-1116	9.4	8.2	Nitrile*	Edmont	615	20.5	5.1					
Néoprène*	A	01-1119	9.9	8.5	Nitrile*	Ansell	500M	20.6	6.9					
Vinyle**	Edmont	33-105	9.9	10.5	PVC**	A	812	20.8	11.1					
Latex Nat*	Ansell	298	10.3	14.8	PVC**	A	23-300	20.9	15.5					
Néoprène*	Edmont	29-865	10.6	2.3	PVC**	Edmont	23-391	21.1	9.7					
Vinyle**	Edmont	21-147	11.4	21.8	PVC**	Edmont	605	21.3	6.9					
Latex*	Ansell	208	11.9	8.1	PVC**	Edmont	30-190	21.6	10.7					
Vinyle**	Edmont	1-114	12.0	14.6	PVC**	A	1914	22.1	5.0					
Latex*	Ansell	356	12.1	7.1	PVC**	A	1501	22.5	9.9					
Néoprène*	Edmont	N-35	12.3	14.7	PBR**	A	42-325	22.7	18.1					
Latex*	Ansell	390	12.6	8.1	Nitrile**	Edmont	1514-8	23.4	3.5					
Latex*	Ansell	392	12.6	8.4	Néoprène**	Best	6780	23.5	6.2					
Néoprène*	Ansell	520	12.6	10.4	Latex*	A	1414	23.7	9.2					
Latex Nat*	Ansell	384	13.0	10.2	Rubber**	Best	01-1863	23.7	4.2					
Néoprène*	A	01-1119	13.3	8.9	Néoprène*	Edmont	40	23.8	19.1					
Néoprène*	Best	723	13.5	11.1	Néoprène*	Edmont	8-352	24.2	8.6					
PVA**	Edmont	15-552	13.6	52.5	PVC**	A	614	24.3	8.7					
Vinyle**	Edmont	20-102	13.8	20.4	PVC**	A	3501wg	24.4	8.7					
Vinyle**	Edmont	51-151	13.9	11.6	PVC**	Best	264-1M	24.9	10.2					
Néoprène*	Edmont	9-912	15.0	19.4	Nitrile*	Best	730	25.0	11.6					
PVC**	Edmont	13-152	15.1	6.8	Nitrile**	Fischer	11-394-16B	25.3	14.0					
Latex*	A	01-1252	15.6	7.9	Nitrile**	A	01-1550	25.4	4.8					
PVC**	A	207-1	15.7	17.5	Latex Nat*	Best	32	25.6	2.4					
PVC**	Edmont	61-161	16.1	12.0	Néoprène**	Edmont	19-934	26.2	8.6					
Néoprène*	Edmont	9-922	16.2	5.7	Néoprène*	Edmont	37-175	27.8	4.4					
PVC**	Edmont	1570	16.2	8.4	Nitrile*	Best	65-nfw	28.5	14.2					
Rubber*	Edmont	6-600	16.9	13.4	Rubber**	Edmont	37-145	31.2	8.1					
PVC**	A	1201fwg	16.9	25.0	Nitrile**	Fischer	11-394-23C	32.0	6.7					
Latex*	Best	574-10	17.0	10.3	Nitrile**	A	01-1533	33.3	11.4					
PVC**	Edmont	4-460	17.4	6.6	Néoprène*	Edmont	37-155	33.9	6.0					
Nitrile**	Edmont	27-607	17.5	6.3	Nitrile*	A	1253	38.6	9.2					
Latex*	Best	55-10	17.5	6.4	Néoprène*	Nitrile	1526-8	39.9	5.7					
Vinyle**	Edmont	22-515	17.9	12.0	Nitrile**	Best	737-09	56.1	7.2					
PVC**	A	1812wg	18.1	13.9	Nitrile*	Edmont	37-165	58.7	5.9					
Vinyle**	Edmont	21-191	18.1	11.7	Nitrile*									

* Non doublés
** Doublés

TABLEAU B-2

Évaluation de la résistance à la perforation des gants de protection avec une pointe hémisphérique de 2.5 mm de diamètre

GANTS			POINTE 2.5mm.			GANTS			POINTE 2.5mm					
MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	% C.V.	MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	% C.V.	MATÉRIEL	MANUFACT.	MODÈLE	FORCE (N)	% C.V.
Latex Nat*	Ansell	832	12.2	7.2	Nitrile*	Ansell	611	43.2	9.3	Nitrile*	Ansell	611	43.2	9.3
Néoprène**	Ansell	530	15.4	10.4	Vinyle**	Edmont	20-102	44.1	11.0	Vinyle**	Edmont	20-102	44.1	11.0
Néoprène*	Ansell	540	15.8	8.8	PVC**	Edmont	4-460	44.4	9.7	PVC**	Edmont	4-460	44.4	9.7
Latex Nat*	Ansell	343	17.2	6.6	Latex	Edmont	66-507	44.7	8.5	Latex	Edmont	66-507	44.7	8.5
Latex*	Ansell	40	18.0	7.0	PVC**	Edmont	23-391	46.0	9.7	PVC**	Edmont	23-391	46.0	9.7
Neo-latex*	Ansell	100	19.0	17.9	PVC**	A	605	46.8	10.2	PVC**	A	605	46.8	10.2
Rubber*	Edmont	36-124	19.4	5.9	PVC**	A	1414	47.6	13.1	PVC**	A	1414	47.6	13.1
Neo/Latex*	Ansell	224	22.4	6.4	PVC**	Edmont	23-300	47.7	15.9	PVC**	Edmont	23-300	47.7	15.9
Latex*	Ansell	390	23.3	7.5	Latex*	A	01-1860	47.9	3.1	Latex*	A	01-1860	47.9	3.1
Latex Nat*	Best	700	23.3	2.1	Vinyle**	Edmont	22-515	49.4	17.8	Vinyle**	Edmont	22-515	49.4	17.8
Latex*	Ansell	254	24.5	5.9	Vinyle**	Edmont	1-114	49.7	6.3	Vinyle**	Edmont	1-114	49.7	6.3
Latex*	Ansell	392	24.7	3.4	PVC**	Best	264-1m	49.8	9.3	PVC**	Best	264-1m	49.8	9.3
Néoprène*	A	01-1119	24.7	12.3	Nitrile**	Edmont	40-105	50.9	11.5	Nitrile**	Edmont	40-105	50.9	11.5
Néoprène*	Edmont	N-35	24.9	14.6	PVC*	A	207-1	50.9	14.1	PVC*	A	207-1	50.9	14.1
Latex*	Ansell	356	25.3	6.3	Nitrile*	Edmont	615	51.0	7.2	Nitrile*	Edmont	615	51.0	7.2
Latex Nat*	Ansell	298	25.4	7.6	Néoprène*	Edmont	8-352	51.1	7.9	Néoprène*	Edmont	8-352	51.1	7.9
Latex omni*	Ansell	276	26.0	9.2	Nitrile**	Edmont	32-105	53.2	9.6	Nitrile**	Edmont	32-105	53.2	9.6
Néoprène*	A	01-1116	26.0	2.9	Rubber**	Best	40	53.2	7.7	Rubber**	Best	40	53.2	7.7
Néoprène*	Best	723	27.3	4.3	Néoprène**	Best	6780	53.5	5.1	Néoprène**	Best	6780	53.5	5.1
Latex*	Ansell	208	27.7	4.8	Néoprène*	A	01-1533	53.7	4.7	Néoprène*	A	01-1533	53.7	4.7
Latex Nat*	Ansell	384	28.5	4.8	PVC**	A	1312w9	53.9	3.4	PVC**	A	1312w9	53.9	3.4
Néoprène*	Ansell	520	30.8	4.2	Nitrile**	Edmont	47-400	54.4	7.5	Nitrile**	Edmont	47-400	54.4	7.5
Néoprène*	Edmont	29-865	32.7	1.4	PVC**	Edmont	30-190	54.7	8.3	PVC**	Edmont	30-190	54.7	8.3
Néoprène*	Edmont	13-152	32.8	16.8	PVC**	A	1501	54.9	16.4	PVC**	A	1501	54.9	16.4
PVC**	A	01-1252	33.2	7.2	Néoprène**	Best	32	55.7	1.9	Néoprène**	Best	32	55.7	1.9
Latex*	A	01-1119	34.0	4.7	Vinyle**	Edmont	33-105	56.2	5.0	Vinyle**	Edmont	33-105	56.2	5.0
Néoprène*	A	01-1233	35.8	7.5	Latex Nat*	A	01-1550	56.6	9.4	Latex Nat*	A	01-1550	56.6	9.4
Néoprène*	Edmont	9-922	35.8	6.3	Latex*	A	01-1861	57.2	2.5	Latex*	A	01-1861	57.2	2.5
Néoprène*	Edmont	9-912	35.9	7.3	Néoprène*	A	1253	57.4	8.3	Néoprène*	A	1253	57.4	8.3
PVC**	A	1814	36.0	13.0	PVC**	Edmont	61-161	58.8	9.5	PVC**	Edmont	61-161	58.8	9.5
PVC**	A	1812w9	36.6	15.4	PVC**	A	614	58.9	8.4	PVC**	A	614	58.9	8.4
PVC**	Edmont	1570	36.9	14.6	PVA**	Edmont	15-552	59.6	7.2	PVA**	Edmont	15-552	59.6	7.2
Latex*	Best	55-10	37.6	11.7	NBR**	Edmont	42-325	59.8	16.7	NBR**	Edmont	42-325	59.8	16.7
PVC**	A	812	38.0	9.4	Vinyle**	Edmont	21-147	61.6	6.2	Vinyle**	Edmont	21-147	61.6	6.2
Vinyle**	Edmont	23-191	38.3	8.4	PVC**	A	3501w9	63.2	12.7	PVC**	A	3501w9	63.2	12.7
Latex*	Best	574-10	38.3	5.9	Nitrile**	Fischer	11-394-160	63.7	4.4	Nitrile**	Fischer	11-394-160	63.7	4.4
Nitrile**	Edmont	27-607	38.3	0.5	Nitrile*	Edmont	37-175	68.1	11.0	Nitrile*	Edmont	37-175	68.1	11.0
Rubber**	Edmont	16-300	38.5	10.1	Nitrile**	Nitrile	1514-8	70.4	4.4	Nitrile**	Nitrile	1514-8	70.4	4.4
Néoprène*	Edmont	19-934	38.7	10.0	Nitrile*	Best	730	72.5	5.1	Nitrile*	Best	730	72.5	5.1
PVC**	Best	725-R	39.9	9.3	Nitrile*	Edmont	37-145	77.8	4.3	Nitrile*	Edmont	37-145	77.8	4.3
Vinyle**	Edmont	51-151	40.3	16.0	Rubber**	Best	65-nfw	80.8	5.5	Rubber**	Best	65-nfw	80.8	5.5
PVC**	A	1914	40.5	11.0	Nitrile**	Fischer	11-394-23C	90.4	11.1	Nitrile**	Fischer	11-394-23C	90.4	11.1
Rubber*	Edmont	6-600	41.1	10.9	Nitrile**	Edmont	37-155	94.4	5.2	Nitrile**	Edmont	37-155	94.4	5.2
Nitrile**	Best	7166	42.5	8.9	Nitrile**	Nitrile	1526-8	107.5	8.1	Nitrile**	Nitrile	1526-8	107.5	8.1
PVC**	A	500M	42.9	15.0	Nitrile**	Edmont	37-165	113.2	7.0	Nitrile**	Edmont	37-165	113.2	7.0
PVC**	A	1201fwg	42.9	8.4	Nitrile*	Best	737-09	153.3	2.1	Nitrile*	Best	737-09	153.3	2.1

* Non doublés
** Doublés