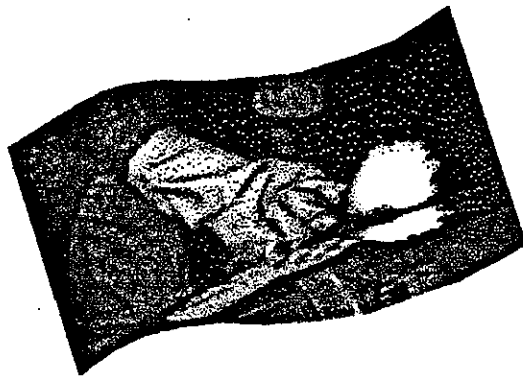


**Développement
d'une méthode gravimétrique
pour évaluer la résistance
des vêtements de protection
aux produits chimiques volatils**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Jaime Lara et Julie De Merchant

Septembre 1992 R-058

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 gravimétrique
pour évaluer la résistance
des vêtements de protection
aux produits chimiques volatils**

**Jaime Lara et Julie De Merchant
Programme sécurité-ingénierie
IRSST**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

RAPPORT

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	1
1.0 INTRODUCTION	2
1.1 Description de la méthode ASTM F-739	2
1.2 La méthode gravimétrique: Le principe	3
2.0 PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE	4
2.1 La méthode ASTM	4
2.2 Les matériaux	4
2.3 Les produits chimiques	5
2.4 La durée des essais	5
2.5 La température	5
3.0 DÉVELOPPEMENT D'UNE CELLULE DE PERMÉATION POUR DES ESSAIS GRAVIMÉTRIQUES	5
3.1 La cellule 1	5
3.1.1 Procédure d'essais	6
3.1.2 Résultats	6
3.2 Le "Pot Mason" comme cellule de perméation	8
3.2.1 Procédure d'essais	8
3.2.2 Résultats	8
3.3 La cellule conique	9
3.3.1 Procédure d'essais	10
3.3.2 Résultats	10
3.4 Comparaison de la méthode ASTM et la méthode gravimétrique	11
4.0 CONCLUSION	11
5.0 RÉFÉRENCES	12
LISTE DES TABLEAUX	13
LISTE DES FIGURES	20

AVANT-PROPOS

L'évaluation quantitative de la résistance aux agresseurs chimiques des matériaux utilisés dans la fabrication des vêtements de protection n'a commencé que vers le milieu des années 1970. En effet, avant que des méthodes quantitatives ne soient développées, les fabricants des vêtements de protection publiaient des informations concernant la résistance des matériaux par rapport aux agresseurs chimiques issues des observations visuelles. Le matériau était mis en contact avec un produit chimique et le niveau de dégradation de celui-ci était rapporté comme étant faible, moyen ou élevé.

En 1977, l'ASTM (American Society for Testing and Materials) a formé un groupe de travail, le comité F-23, afin de développer des méthodes normalisées pour évaluer les propriétés des matériaux des vêtements de protection. Comme résultat de ces travaux, une première méthode pour évaluer la perméabilité des matériaux face aux produits chimiques liquides fut développée et publiée en 1981 (1). Depuis, des modifications ont été introduites à la méthode, afin de permettre d'évaluer la perméabilité des matériaux aux produits chimiques liquides et aux gaz. Ces modifications ont été apportées dans une révision de la méthode normalisée publiée en 1985 (2).

Une des limitations de la méthode ASTM est qu'elle nécessite un montage coûteux composé, entre autre de la cellule de perméation ASTM, d'un chromatographe en phase gazeuse, d'un sélecteur de valves pour l'échantillonnage et d'un système d'acquisition des données. De plus, les manipulations à réaliser lors des essais sont complexes et doivent être exécutées par des personnes bien entraînées. De ce fait, la méthode ASTM n'est accessible qu'à un nombre très limité de laboratoires.

Dans le cadre du projet PR88-33-30 (3), la possibilité de développer une méthode gravimétrique a été considérée. Celle-ci exigerait un montage moins coûteux, des manipulations plus simples et permettrait de réaliser des essais en milieu de travail. Cette méthode serait ainsi plus accessible aux entreprises. Ce rapport présente les résultats des travaux réalisés dans ce but.

1.0 INTRODUCTION

La manipulation de produits chimiques peut entraîner des contacts dont il faut se protéger. Le contact direct d'un produit chimique (ou un mélange de produits) avec la peau peut provoquer des effets variés tels que brûlures, irritations, dermatoses ou intoxications. Le produit peut également pénétrer à travers la peau sans effet apparent, et être transporté par le sang aux divers organes. Pour protéger la peau d'un éventuel contact avec des produits chimiques, l'utilisation des vêtements de protection est souvent nécessaire.

Les vêtements de protection sont en général faits à base de polymères naturels ou synthétiques purs ou bien en mélanges. De plus, des additifs tels que adjuvants, antioxydants, et plastifiants, peuvent faire partie de la composition des matériaux. Pour ces raisons, les vêtements de protection de différents fabricants, peuvent souvent avoir le même nom du polymère de base (e.g. nitrile) mais avoir des propriétés complètement différentes. Il est donc nécessaire de réaliser des essais en laboratoire pour déterminer la résistance des vêtements aux produits chimiques et ainsi déterminer le niveau de protection qu'ils offrent.

1.1 Description de la méthode ASTM F-739

La cellule utilisée pour évaluer la résistance des vêtements de protection selon la norme ASTM F-739 (2) est représentée à la figure 1. Cette cellule est constituée de deux chambres séparées par le matériau à évaluer. Une des chambres est pour le produit chimique et l'autre chambre est pour le collecteur, gaz ou liquide. Dans la chambre du produit chimique, celui-ci est mis en contact direct avec la surface externe du matériau. Dans la chambre du collecteur, les vapeurs du produit chimique qui traversent le matériau sont récupérées à l'aide d'un gaz ou d'un liquide "collecteur" qui le transportera au détecteur pour analyse.

Deux types de montages sont utilisés pour l'évaluation de la résistance des vêtements de protection aux agresseurs chimiques : celui à boucle ouverte et celui à boucle fermée.

La figure 2a présente un schéma du montage à boucle ouverte. Dans ce cas, le collecteur circule continuellement à travers la chambre de collection de la cellule pour être ensuite éliminé à l'extérieur du système. À l'aide d'une valve d'échantillonnage munie d'une boucle d'injection, des échantillons d'air de la cellule sont recueillis et envoyés au détecteur pour analyse. La courbe obtenue est représentée à la figure 2b. Le temps de claquage indiqué au numéro 1 à la figure, est le temps où les premières traces de solvant sont détectées à la paroi interne du matériau. Le plateau représenté par le numéro 2 à la figure, est la vitesse de passage du produit chimique (ou vitesse de perméation) à travers le matériau.

La figure 3a représente le montage dit "à boucle fermée", dans lequel le collecteur, liquide ou gaz, est recyclé continuellement. La courbe obtenue est du type représenté à la figure 3b. Le numéro 1 à la figure est le temps de claquage et la pente de la droite (numéro 2) est la vitesse de passage du produit chimique à travers le matériau.

Dans cette étude, les références utilisées sont les valeurs des temps de claquage et de vitesses de passage obtenues par la méthode ASTM et elles ont été comparées à celles obtenues par la méthode gravimétrique. Le temps de claquage et la vitesse de passage sont les paramètres qui caractérisent la résistance des vêtements de protection aux agresseurs chimiques. Ainsi, un matériau qui a une bonne résistance à un produit chimique doit à la fois avoir un temps de claquage élevé et une faible vitesse de perméation. Ce sont les deux paramètres à considérer lors du choix d'un vêtement ou d'un gant de protection.

1.2 La méthode gravimétrique : Le principe

Lorsqu'un produit chimique est mis en contact avec la surface externe d'un matériau, le produit diffuse à l'intérieur du matériau jusqu'à atteindre la surface interne pour ensuite s'évaporer. Lors de l'évaporation du produit chimique, il y aura une perte de poids qui pourra être détectée par une balance. Basés sur ce principe, le temps de claquage et la vitesse de passage du produit chimique au travers du matériau peuvent être déterminés.

Les éléments nécessaires pour la réalisation d'un essai gravimétrique sont les suivants : une cellule de perméation spécialement conçue et fabriquée d'un matériel léger et résistant aux produits chimiques, ayant une chambre pour contenir le produit chimique, un système pour fixer l'échantillon à la cellule, une balance de 1 mg de sensibilité et un support pour installer la cellule sur la balance.

La figure 4a est une représentation schématique de la méthode gravimétrique. Le type d'information obtenue à l'aide de cette méthode est représenté à la figure 4b. Dans ce cas, l'axe Y représente la perte de poids ($-\Delta P$), tandis que l'axe X représente le temps de l'essai. Le temps de claquage est défini comme étant le temps où la première perte de poids est détectée. La pente de la courbe ($\Delta P/\Delta t$) est la vitesse de passage du produit chimique à travers le matériau.

2.0 PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

2.1 La méthode ASTM

Le montage utilisé à l'IRSST pour évaluer la résistance des vêtements aux agresseurs chimiques est du type à boucle ouverte. Les cellules de perméation correspondent à celles de la norme ASTM F-739. Le détecteur utilisé est à ionisation de flamme (FID) installé dans un chromatographe Varian série 2700. Le gaz collecteur est de l'azote circulant à un débit de 500 mL/min. L'échantillonnage est réalisé automatiquement à l'aide d'une valve pneumatique développée à l'IRSST, avec une boucle d'injection de 50 μ L. L'acquisition des données est faite avec un intégrateur HP modèle 3390a.

2.2 Les matériaux

Les matériaux utilisés dans cette étude étaient les suivants :

- a) néoprène de 0,49 mm (néoprène 1) et de 0,75 mm (néoprène 2) d'épaisseur. Le polymère de base est fabriqué par la compagnie Du Pont et le matériau est mis en forme par la compagnie Fairprene, Industrial Products Company Inc., 85 Mill Plain Rd., Fairfield, CT. 06430, USA. Ce matériau est spécialement fabriqué comme matériau de référence pour usage dans le cadre des travaux du comité F-23 (on Protective Clothing) de l'ASTM. Il a comme caractéristiques particulières d'avoir une composition et une épaisseur homogènes.
- b) nitrile de 0,37 mm (gant Solvex 37-145) et de 0,60 mm (gant Solvex 37-165) d'épaisseur.

L'épaisseur des matériaux a été mesurée suivant la méthode normalisée Fed. Std., No. 191 Method 5030.2 en utilisant un micromètre fabriqué par la compagnie Ames, modèle 88-079.

2.3 Les produits chimiques

Les produits chimiques utilisés pour les essais sont présentés au tableau 1. Des courbes d'étalonnage ont été préparées pour chaque solvant à partir des étalons préparés dans des sacs de Tedlar® de 14 L. Les limites de détection des solvants dans les conditions expérimentales utilisées lors de cette étude pour la méthode ASTM, ont été déterminées et sont présentées au tableau 1.

2.4 La durée des essais

Dans la plupart des cas, la durée des essais a été établie à une heure. Les cas pour lesquels la durée des essais était supérieure à une heure sont les suivants : néoprène de 0,75 mm d'épaisseur avec les solvants acétone, n-hexane et tétrachloroéthylène (90 min) et néoprène de 0,49 mm d'épaisseur avec acétonitrile (120 min).

2.5 La température

Les essais de perméation pour la méthode ASTM et pour la méthode gravimétrique ont été réalisés à $22 \pm 1^\circ\text{C}$.

3.0 DÉVELOPPEMENT D'UNE CELLULE DE PERMÉATION POUR DES ESSAIS GRAVIMÉTRIQUES

Lors du développement de la méthode gravimétrique, trois différents modèles de cellules de perméation ont été testés. Dans cette section, les résultats des essais de perméation obtenus à l'aide de ces cellules sont présentés.

3.1 Cellule 1

La première cellule évaluée dans cette étude était basée sur le modèle de cellule proposé par un groupe de travail du comité F-23 de l'ASTM. Un schéma de la cellule est représenté à la figure 5. Cette cellule est fabriquée en aluminium, d'un diamètre interne de 75 mm, d'une hauteur de 28 mm et l'épaisseur de la paroi est de 3,5 mm. Un anneau de retenue en aluminium ayant la même épaisseur et le même diamètre que le corps de la cellule sert à fixer deux joints en téflon de 76 mm de diamètre interne. Le matériau à évaluer est placé entre l'anneau de retenue et le corps de la cellule, et l'étanchéité est assurée par les joints de téflon. Les joints

sont installés de chaque côté du matériau dans des espaces spécialement conçus à cet effet, dans le corps de la cellule et dans l'anneau de retenue. Le tout est fixé avec six vis placées symétriquement tel que montré à la figure 5. Lors des essais, la cellule est installée sur un support fait d'aluminium constitué d'un anneau ayant le même diamètre que la cellule, avec quatre pattes d'une hauteur de 25 mm. Cette hauteur a été considérée comme suffisante pour permettre une bonne circulation de l'air en dessous de la cellule, lors de l'évaporation du produit chimique.

3.1.1 Procédure d'essais

Cette cellule doit être placée à l'envers pour permettre l'introduction du produit chimique. Le volume de produit chimique utilisé pour les essais est de 25 mL, ce qui correspond à une hauteur approximative d'un centimètre de liquide à l'intérieur de la cellule. La séquence d'installation de l'échantillon dans la cellule est la suivante: un des joints en téflon, la pièce du matériau à évaluer, l'anneau de retenue et l'autre joint en téflon. Le tout est fixé par les vis montrées à la figure 5. Lorsque les vis sont suffisamment serrées pour assurer une bonne étanchéité, la cellule est renversée de façon à mettre en contact le produit chimique avec le matériau, et elle est placée sur la balance. La balance utilisée est une Sartorius modèle L 4205, d'une sensibilité de 1 mg. Elle est installée à l'intérieur d'une hotte faite en plexiglass de 1 mètre x 1 mètre. Lors des essais, la circulation d'air à l'intérieur de la hotte est minime afin d'éviter les fluctuations dans les lectures de poids. La balance est reliée à un ordinateur IBM PC pour l'acquisition des données.

Pendant les essais réalisés avec la cellule 1, il a été constaté que lorsque le produit chimique entrait en contact avec le matériau, celui-ci ballonnait. Une des raisons qui pourrait expliquer en partie ce phénomène est le gonflement du matériau provoqué par la pénétration du produit chimique à l'intérieur du matériau. L'autre raison serait une surpression causée par de l'air qui aurait pu rester emprisonné lorsque la cellule est fermée. Pour éliminer un éventuel excès de pression à l'intérieur de la cellule, une valve a été installée tel que montré à la figure 5. Cette valve permettait d'équilibrer la pression de la cellule avec l'extérieur avant de commencer un essai.

3.1.2 Résultats

Le tableau 2 présente les temps de claquage, et le tableau 3 les vitesses de passage obtenues par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec la cellule 1. Les résultats rapportés aux tableaux 2 et 3, correspondent à la moyenne des valeurs obtenues pour au moins trois essais.

Concernant les temps de claquage (tableau 2), les valeurs obtenues par les deux méthodes et leurs écarts type sont en général équivalentes. L'équivalence dans les résultats obtenus par la méthode ASTM F-739 et ceux obtenus par la méthode gravimétrique avec la cellule 1, est représentée à la figure 6. L'axe Y de ce graphique correspond aux valeurs des temps de claquage pour les matériaux et les solvants évalués par la méthode ASTM. L'axe X représente les valeurs du temps de claquage pour les mêmes matériaux et solvants, obtenues par la méthode gravimétrique. La diagonale tracée dans le graphique représente l'idéalité, soit une pente égale à 1. La régression linéaire des valeurs obtenues par le cellule ASTM, par rapport à celles obtenues avec la cellule gravimétrique 1, présentées au tableau 2, donne un coefficient de détermination R^2 égal à 0,995, une pente de 0,980 et une ordonnée à l'origine égale à -0,729. Ceci démontre que les résultats des temps de claquage obtenus par les deux méthodes s'approchent de l'idéalité avec une excellente corrélation.

Dans le cas des vitesses de passage (V_p), les résultats rapportés au tableau 3 sont représentés à la figure 7. Les valeurs de vitesses de passage obtenues par la méthode ASTM sont rapportées à l'axe Y et celles obtenues par la méthode gravimétrique, à l'axe X. Pour les calculs par régression linéaire, les résultats obtenus pour le tétrahydrofurane avec nitrile 1 et pour l'acétonitrile avec néoprène 2 rapportés au tableau 3 n'ont pas été considérés à cause de la dégradation des matériaux. Les valeurs obtenues par régression linéaire sont de 0,985 pour R^2 , de 1,127 pour la pente (b) et de -117,4 pour l'ordonnée à l'origine (a). Malgré le fait que le coefficient de détermination indique que la corrélation linéaire est bonne, la valeur de la pente démontre qu'il existe une légère tendance à s'éloigner de l'idéalité (pente = 1).

Les résultats obtenus avec la cellule 1 peuvent être considérés comme très bons. Cependant, cette cellule gravimétrique était de manipulation difficile notamment lors du transvidage du produit chimique de la cellule à la fin d'un essai. En effet, il était difficile d'éviter le contact avec le produit chimique lors de l'ouverture de la cellule pour la nettoyer.

D'autre part, étant donné la conception particulière de la cellule 1, l'étanchéité était difficile à assurer et après un certain nombre d'essais, le produit chimique s'infiltrait entre les vis, au niveau des joints d'étanchéité. En effet, lorsque les six vis autour de la cellule sont serrées, la pression exercée sur les joints d'étanchéité n'est pas homogène. De ce fait, il y avait toujours des risques d'écoulement du produit entre les vis, ce qui pourrait causer des problèmes au niveau des mesures de perméation.

3.2 Cellule 2 : Le "Pot Mason"

Un autre type de cellule moins coûteux a été essayé. Cette cellule devrait être accessible aux utilisateurs en milieu de travail, de manipulation facile et sécuritaire et représentant une solution de dépannage, alternative à la méthode ASTM F-739 et à la méthode gravimétrique comportant la cellule proposée par le comité F-23 de l'ASTM. Pour ces raisons, le "Pot Mason" a été évalué comme cellule de perméation.

3.2.1 Procédure d'essais

Pour utiliser un "Pot Mason" comme cellule de perméation, des joints en téflon doivent être ajoutés dans le bouchon du pot pour assurer une bonne étanchéité. Le produit chimique est introduit dans le pot et la pièce de matériau à évaluer est installée dans le bouchon du pot entre les deux joints en téflon. On renverse le pot pour mettre en contact le produit chimique avec le matériau et on l'installe sur un support du même type que celui décrit dans le cas de la cellule 1.

La figure 8 présente un schéma du "Pot Mason" utilisé lors de l'étude. Le diamètre de l'ouverture du Pot est de 6 cm. Les matériaux évalués dans ce cas ont été les suivants : néoprène 1, néoprène 2, nitrile 1 et nitrile 2. Les solvants utilisés pour évaluer la résistance des matériaux ont été les suivants: acétate d'éthyle, acétone, n-hexane, tétrachloroéthylène, tétrahydrofurane, toluène et acétonitrile.

3.2.2 Résultats

Les résultats obtenus par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique, avec le Pot Mason comme cellule de perméation, sont présentés au tableau 2 pour les temps de claquage et au tableau 3 pour les vitesses de passage.

La figure 9 représente la corrélation entre les résultats des temps de claquage obtenus par la méthode ASTM sur l'axe Y, et par la méthode gravimétrique avec le "Pot Mason" sur l'axe X. La régression linéaire de ces points donne une pente idéale de 1,0 mais avec un coefficient R^2 de 0,970, ce qui est plus faible que celui obtenu avec les deux autres cellules.

En ce qui concerne les vitesses de passage, les valeurs rapportées au tableau 3 sont représentées à la figure 10. Dans cette figure, les valeurs obtenues par la méthode ASTM sont représentées à l'axe des Y tandis que celles obtenues par la méthode gravimétrique avec le "Pot Mason" sont

représentées à l'axe des X. La régression linéaire de ces points donne un coefficient R^2 de 0,963, équivalant à celui obtenu pour les temps de claquage, et la pente de la droite est de 0,875, une valeur plus basse que pour les autres cellules gravimétriques.

Même si les résultats obtenus avec le Pot Mason en ce qui concerne les temps de claquage semblent intéressants, l'utilisation d'une telle cellule représente des risques et nous la déconseillons. En effet, l'étanchéité du Pot est difficile à assurer. De plus, l'installation de l'échantillon entre les joints en téflon présente beaucoup de difficultés.

En raison des difficultés éprouvées avec la cellule gravimétrique proposée par le comité F-23 de l'ASTM et le Pot Mason, une nouvelle cellule a été développée, soit la cellule conique.

3.3 Cellule 3 : La cellule conique

La conception de cette nouvelle cellule avait comme but de corriger les défauts de la cellule ASTM et du Pot Mason, à savoir les fuites de produit lors des essais et la manipulation difficile lorsqu'on transvide le produit chimique à la fin d'un essai.

La cellule conique développée lors de cette étude, est représentée à la figure 11. Elle est fabriquée en aluminium et composée de trois parties dont le corps de la cellule ayant une forme conique de 5,08 cm de diamètre à la base, et de 1 cm de diamètre à la partie supérieure servant à contenir le produit chimique. Un bouchon muni d'un joint en téflon est fixé à la partie supérieure. Un anneau de retenue à la partie inférieure se visse au corps de la cellule et sert à fixer la pièce d'échantillon. L'étanchéité est assurée par des joints en téflon de 5,08 cm de diamètre qui sont commercialement disponibles. Ce diamètre a été choisi car il correspond à celui de la cellule de la norme ASTM F-739.

La figure 11 donne les détails de la forme de la cellule et de ses dimensions. Le bouchon à la partie supérieure de la cellule a comme fonction de permettre de vider le produit chimique de façon sécuritaire. Concernant l'anneau de retenue, il est vissé au corps de la cellule ce qui permet d'appliquer une pression homogène sur les joints d'étanchéité et de diminuer ainsi les risques de fuites.

Pour effectuer un essai, la cellule est installée sur un support constitué d'un anneau en aluminium ayant le même diamètre que la base de la cellule, muni de trois pattes de 25 mm de hauteur.

3.3.1 Procédure d'essais

Lors des essais avec la cellule conique, le bouchon est d'abord fixé à la partie supérieure du corps de la cellule, celle-ci est renversée et le produit chimique est introduit. Ensuite, la pièce d'échantillon est installée entre le corps de la cellule et l'anneau de retenue avec un joint de téflon de chaque côté. Lorsque l'étanchéité est assurée, la cellule est retournée, installée sur le support et placée sur la balance.

Les essais avec la cellule conique ont été réalisés avec les néoprène 1 et 2, et sept solvants soit: l'acétone, le tétrahydrofurane, l'acétonitrile, l'acétate d'éthyle, le n-hexane, le tétrachloroéthylène et le toluène.

3.3.2 Résultats

Les temps de claquage obtenus avec la cellule conique comparés à ceux obtenus avec la cellule ASTM sont présentés au tableau 2 et les vitesses de passage obtenues par les deux méthodes sont présentées au tableau 3.

La relation entre les temps de claquage obtenus par les deux méthodes qui sont présentées au tableau 2, est représentée à la figure 12. L'axe Y représente les résultats obtenus par la méthode ASTM tandis que l'axe X représente les résultats obtenus par la méthode gravimétrique. La régression linéaire de ces résultats donne une pente (b) de 0,906 avec l'ordonnée à l'origine de 0,722, et le coefficient R^2 est de 0,997. La pente de la droite a une valeur plus petite que 1, ce qui démontre une légère tendance à s'éloigner de l'idéalité. Ceci signifie que les temps de claquage obtenus par la méthode gravimétrique seraient un peu plus élevés que ceux obtenus par la méthode ASTM. D'autre part, le coefficient R^2 indique que la relation entre les résultats obtenus par les deux méthodes est bonne. De plus, cette cellule a l'avantage d'être facile à manipuler et elle est sécuritaire.

Dans le cas des vitesses de passage, les résultats du tableau 3 sont représentés à la figure 13. L'axe Y correspond aux vitesses de passage obtenues par la méthode ASTM et l'axe X correspond aux vitesses de passage obtenues par la méthode gravimétrique avec la cellule conique. La régression linéaire de ces points donne une pente de 0,899, un coefficient R^2 de 0,998 et un ordonnée à l'origine de 155.

La comparaison des valeurs de b et de R^2 de la régression linéaire pour les temps de claquage et les vitesses de passage obtenues par la méthode ASTM, et par la méthode gravimétrique avec la cellule conique, montrent que les résultats obtenus par les deux méthodes sont équivalents (tableau 4). Ces résultats démontrent qu'il n'existe pas de problème de fuites de produit chimique dans la cellule conique.

3.4 Comparaison des méthodes ASTM F-739 et gravimétrique

Puisque les matériaux utilisés étaient identiques pour tous les tests avec les trois cellules, un test statistique (test t) de comparaison des valeurs moyennes de temps de claquage et de vitesses de passage obtenues par les deux méthodes (4) a pu être fait. L'analyse statistique des résultats a démontré que la méthode ASTM et la méthode gravimétrique sont équivalentes. Cette hypothèse est acceptable avec moins de 0,5 % d'erreur et ceci pour toutes les cellules gravimétriques de perméation évaluées.

4.0 CONCLUSION

La première partie de l'étude a permis d'identifier les problèmes de manipulation retrouvés avec la cellule de perméation proposée par l'ASTM. Les résultats obtenus avec cette cellule (cellule 1) ainsi que la difficulté trouvée lors de son nettoyage ont démontré le besoin de développer une autre cellule ayant une meilleure étanchéité et de manipulation plus sécuritaire.

Une des alternatives à la cellule ASTM, soit le Pot Mason comme cellule de perméation a été étudiée. Les résultats ont démontré que l'utilisation du Pot Mason comme cellule de perméation n'est pas recommandable. Cependant, l'expérience acquise des essais réalisés avec la cellule ASTM et le Pot Mason a permis de définir les caractéristiques que devraient comporter une cellule de perméation.

La nouvelle cellule gravimétrique de forme conique développée, est de manipulation facile et sécuritaire. De plus, cette cellule donne des résultats qui sont équivalents à ceux obtenus par la méthode traditionnelle de l'ASTM.

L'utilisation de la cellule conique pour des essais gravimétriques de perméation offre un potentiel intéressant pour des évaluations en milieu de travail. En effet, il suffit d'utiliser cette cellule et une balance de 1 mg de sensibilité pour évaluer la résistance des vêtements et des gants de protection aux produits utilisés au travail.

Les résultats des essais en milieu de travail permettront aux responsables de la sélection des vêtements de protection de réaliser un choix adapté aux besoins en fonction du produit chimique auquel les travailleurs sont exposés. Cette approche évite les approximations découlant de la sélection des vêtements de protection à partir des informations de résistance aux produits chimiques disponibles dans la littérature. En effet, ces données ont été obtenues par des essais réalisés en laboratoire avec des produits purs alors que les produits industriels sont généralement des mélanges de produits.

Cependant, il est important de noter que la méthode gravimétrique s'applique uniquement à l'évaluation de la résistance à la perméation des vêtements et des gants de protection aux produits chimiques volatils.

RÉFÉRENCES

1. American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Résistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Hazardous Liquid Chemicals", Method F-739-81, ASTM, Philadelphia, 1981.
2. American Society for Testing and Materials, "Resistance of Protective Clothing Materials by Liquids or Gases, Method F-739-85. ASTM, Philadelphia, 1985
3. Projet IRSST PR88-33-20. "Résistance des gants aux produits chimiques: développement d'un test normalisé pour la classification des gants de protection"
4. Scherrer, B., "Biostatistique", Gaetan Morin Ed., Québec, 1984. pp. 408-422.

LISTE DES TABLEAUX

- TABLEAU 1** Solvants utilisés pour l'évaluation des matériaux
- TABLEAU 2** Comparaison des temps de claquage des produits chimiques obtenus avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques
- TABLEAU 3** Comparaison des vitesses de passage des produits chimiques obtenues avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques
- TABLEAU 4** Valeurs de coefficients de détermination linéaire des temps de claquage et vitesses de passage obtenues avec la cellule ASTM vs les cellules gravimétriques

TABLEAU 1**Solvants utilisés pour l'évaluation des matériaux**

SOLVANTS	QUALITÉ	VENDEUR	Limite de sensibilité Décteur FID μg solvant / mL d'air
Acétate d'éthyle	HPLC	Baker 9282-3	2
Acétone	HPLC	Fisher A-949-4	3
Acétonitrile	HPLC	Fisher A-998-4	19
n-Hexane	> 99 %	Fisher H301-4	1
Tétrachloro éthylène	100 %	Baker 9465-3	20
Tétrahydrofurane	HPLC	Fisher T425-4	8
Toluène	HPLC	Fisher T290-4	4

TABLEAU 2

Comparaison des temps de claquage des produits chimiques obtenus avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques

Solvants	Matériaux	Temps de claquage (minutes)									
		Cellule ASTM		Cellule 1		Cellule conique		Pot Masson			
		Tc	S	Tc	S	Tc	S	Tc	S		
Acétate d'éthyle	Néoprène 1	8,2 ±	1,5	NT	NT	7,5 ±	0,4	8,6 ±	0,5		
	Néoprène 2	31,7 ±	1,3	NT	NT	29,1 ±	0,5	30,2 ±	4,7		
Acétone	Néoprène 1	12,3 ±	0,3	13,6 ±	1,3	12,0 ±	0,6	12,2 ±	0,5		
	Néoprène 2	40,8 ±	2,7	43,9 ±	4,9	42,3 ±	1,3	43,9 ±	4,9		
Acétonitrile	Nitrile 1	4,6 ±	1,1	4,5 ±	2,4	NT	NT	NT	NT		
	Nitrile 2	11,7 ±	0,9	13,9 ±	1,4	NT	NT	NT	NT		
Acétonitrile	Néoprène 1	35,7 ±	0,1	37,3 ±	8,8	38,5 ±	1,4	25,3 ±	6,4		
	Néoprène 2	111,3 ±	11,4	110,8 *	*	NT	NT	NT	NT		
n-Hexane	Nitrile 1	7,1 ±	1,3	7,3 ±	0,7	NT	NT	7,9 ±	2,0		
	Nitrile 2	18,9 ±	4,2	16,8 ±	1,1	NT	NT	18,2 ±	2,0		
n-Hexane	Néoprène 1	10,1 ±	0,8	NT	NT	11,4 ±	1,2	10,1 ±	3,2		
	Néoprène 2	43,1 ±	1,9	NT	NT	50,5 ±	3,9	47,2 ±	3,0		

NT = non testé

* = un essai réussi, matériau dégrade

Épaisseur des matériaux (mm)

Néoprène 1 = 0.49
 Néoprène 2 = 0.75
 Nitrile 1 = 0.37
 Nitrile 2 = 0.60

TABLEAU 2 (suite)

Comparaison des temps de claquage des produits chimiques obtenus avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques

Solvants	Matériaux	Temps de claquage (minutes)											
		Cellule ASTM			Cellule 1			Cellule conique			Pot Masson		
		Tc	S		Tc	S		Tc	S		Tc	S	
Tétrachloroéthylène	Néoprène 1	6,5 ±	0,2	NT	NT	7,7 ±	0,9	6,9 ±	0,2				
	Néoprène 2	25,4 ±	2,8	NT	NT	24,3 ±	0,8	28,3 ±	0,4				
Tétrahydrofurane	Néoprène 1	4,6 ±	0,4	4,4 ±	0,4	3,6 ±	0,1	4,1 ±	0,5				
	Néoprène 2	13,0 ±	1,1	13,3 ±	0,6	13,2 ±	0,2	11,3 ±	3,6				
Toluène	Nitrile 1	4,9 ±	2,1	5,3 ±	0,1	NT		NT					
	Néoprène 1	5,4 ±	1,0	4,8 ±	0,5	4,4 ±	0,4	4,6 ±	0,2				
	Néoprène 2	16,4 ±	0,4	15,3 ±	0,1	13,4 ±	0,1	13,6 ±	3,9				
	Nitrile 1	16,5 ±	4,1	20,0 ±	4,5	NT		NT					
	Nitrile 2	32,8 ±	1,0	42,7 ±	5,8	NT		NT					

NT = non testé

Épaisseur des matériaux (mm)

Néoprène 1 = 0.49

Néoprène 2 = 0.75

Nitrile 1 = 0.37

Nitrile 2 = 0.60

TABLEAU 3

Comparaison des vitesses de passage de produits chimiques obtenues avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques

Solvants	Matériaux	Vitesse de passage (mg/min/m ²)													
		Cellule ASTM				Cellule 1				Cellule conique				Pot Masson	
		Tc	S	Tc	S	Tc	S	Tc	S	Tc	S	Tc	S		
Acétate d'éthyle	Néoprène 1	5 681 ± 1 061		NT		5 677 ± 27		5 674 ± 125							
	Néoprène 2	3 130 ± 335		NT		3 122 ± 32		2 808 ± 100							
Acétone	Néoprène 1	2 031 ± 580		1 994 ± 32		1 745 ± 152		2 219 ± 73							
	Néoprène 2	1 321 ± 94		1 239 ± 106		1 016 ± 66		1 239 ± 106							
Acétonitrile	Nitrile 1	28 628 ± 5 526		24 894 ± 1 819		NT		NT							
	Nitrile 2	14 308 ± 1 933		13 451 ± 1 405		NT		NT							
n-Hexane	Néoprène 1	128 ± 61		77 ± 3		104 ± 45		122 ± 56							
	Néoprène 2	54 ± 7		66 *		NT		NT							
n-Hexane	Nitrile 1	7 164 ± 47		7 672 ± 446		NT		7 352 ± 577							
	Nitrile 2	4 940 ± 214		4 933 ± 62		NT		4 812 ± 59							
n-Hexane	Néoprène 1	1 688 ± 78		NT		1 648 ± 33		1 780 ± 51							
	Néoprène 2	1 060 ± 234		NT		871 ± 83		947 ± 67							

NT = non testé

* = un essai réussi, matériau dégradé

Épaisseur des matériaux (mm)

Néoprène 1 = 0.49

Néoprène 2 = 0.75

Nitrile 1 = 0.37

Nitrile 2 = 0.60

TABLEAU 3 (suite)

Comparaison des vitesses de passage de produits chimiques obtenues avec la cellule ASTM et les cellules gravimétriques

Solvants	Matériaux	Vitesse de passage (mg/min/m ²)									
		Cellule ASTM		Cellule 1		Cellule conique		Pot Masson			
		Tc	S	Tc	S	Tc	S	Tc	S		
Tétrachloroéthylène	Néoprène 1	15 889 ± 768	768	NT	NT	19 143 ± 307	307	17 613 ± 1 278	1 278		
	Néoprène 2	13 222 ± 589	589	NT	NT	11 422 ± 91	91	11 652 ± 133	133		
Tétrahydrofurane	Néoprène 1	28 917 ± 2 181	2 181	28 994 ± 2 110	2 110	31 106 ± 571	571	30 188 ± 306	306		
	Néoprène 2	25 382 ± 990	990	19 150 ± 407	407	16 823 ± 464	464	19 111 ± 133	133		
Toluène	Nitrile 1	33 003 ± 2 439	2 439	40 290*		NT		NT			
	Nitrile 2	21 080 ± 2 402	2 402	NT		NT		NT			
Toluène	Néoprène 1	20 274 ± 1 543	1 543	15 721 ± 700	700	14 269 ± 793	793	12 780 ± 174	174		
	Néoprène 2	12 590 ± 902	902	11 442 ± 128	128	9 760 ± 269	269	10 511 ± 666	666		
Toluène	Nitrile 1	2 138 ± 202	202	3 431 ± 970	970	NT		NT			
	Nitrile 2	4 127 ± 1 291	1 291	3 141 ± 1 525	1 525	NT		NT			

NT = non testé

* = un essai réussi, matériau dégradé

Épaisseur des matériaux (mm)

Néoprène 1 = 0.49

Néoprène 2 = 0.75

Nitrile 1 = 0.37

Nitrile 2 = 0.60

TABLEAU 4

Valeurs de coefficients de corrélation linéaire
des temps de claquage et vitesses de passage
obtenues avec la cellule ASTM versus les cellules gravimétriques

Pair comparé	Coefficient	Temps de claquage	Vitesse de passage
Cellule ASTM vs cellule 1	a b R ²	(Tableau 2) - 0,729 0,980 0,995	(Tableau 3) - 111,4 1,127 0,985
Cellule ASTM vs cellule conique	a b R ²	(Tableau 4) 0,722 0,906 0,997	(Tableau 5) 155,4 0,899 0,998
Cellule ASTM vs Pot Masson	a b R ²	(Tableau 6) - 0.330 1,001 0,970	(Tableau 7) 220,0 0,875 0,963

a = Ordonné à l'origine
b = Pente de la courbe
R² = Coefficient de détermination

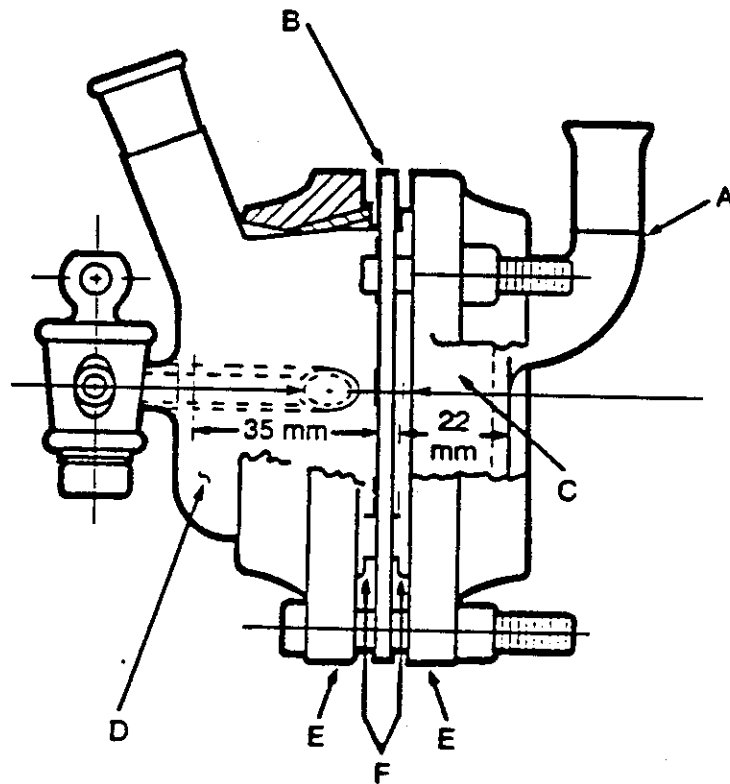
LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1** Cellule de perméation ASTM F-739
- FIGURE 2** a) Schéma d'un montage expérimental type à boucle ouverte
b) Exemple de résultats obtenus avec un montage à boucle ouverte
- FIGURE 3** a) Schéma d'un montage expérimental à type boucle fermée
b) Exemple de résultats obtenus avec un montage à boucle fermée
- FIGURE 4** a) Schéma d'un montage expérimental pour des essais gravimétriques
b) Exemple de résultats obtenus par la méthode gravimétrique
- FIGURE 5** Schéma de la cellule de perméation 1
- FIGURE 6** Comparaison des temps de claquage obtenus par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec la cellule 1
- FIGURE 7** Comparaison des vitesses de perméation obtenues par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec la cellule 1
- FIGURE 8** Schéma du "Pot Mason" utilisé comme cellule de perméation pour des essais gravimétriques
- FIGURE 9** Comparaison des temps de claquage obtenus par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec le "Pot Mason" comme cellule de perméation
- FIGURE 10** Comparaison des vitesses de perméation obtenues par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec le "Pot Mason" comme cellule de perméation
- FIGURE 11** Plan de la cellule conique

FIGURE 12 Comparaison des temps de claquage obtenus par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec la cellule conique

FIGURE 13 Comparaison des vitesses de perméation obtenues par la méthode ASTM et par la méthode gravimétrique avec la cellule conique

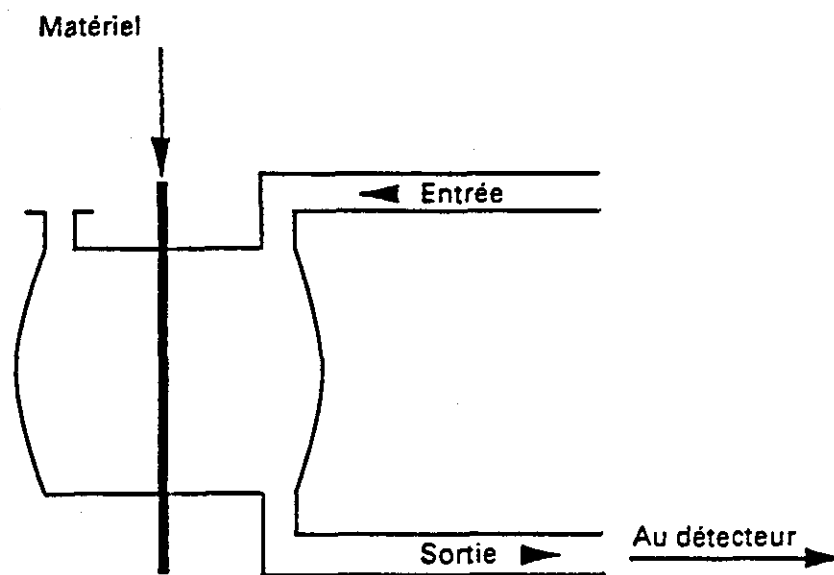
FIGURE 1 CELLULE DE PERMÉABILITÉ ASTM F-739



- A = Niveau du perméant
- B = Échantillon (gant)
- C = Perméant
- D = Milieu collecteur (Volume total \sim 100 ml)
- E = Support des cellules
- F = Joints d'étanchéité

FIGURE 2

a) SCHEMA D'UN MONTAGE EXPERIMENTAL TYPE A BOUCLE OUVERTE



b) EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS AVEC UN MONTAGE A BOUCLE OUVERTE

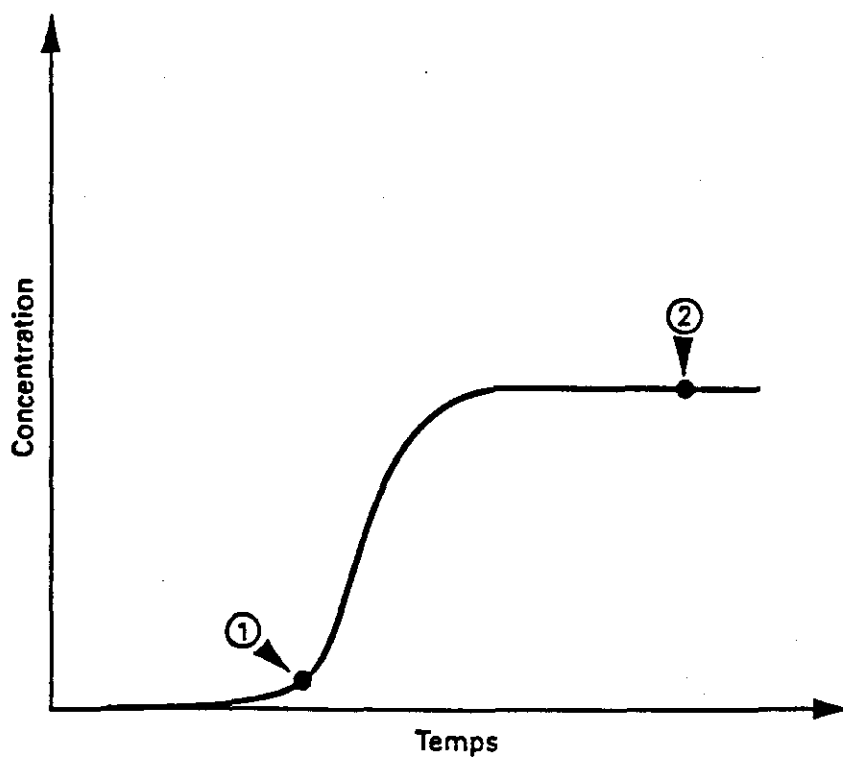
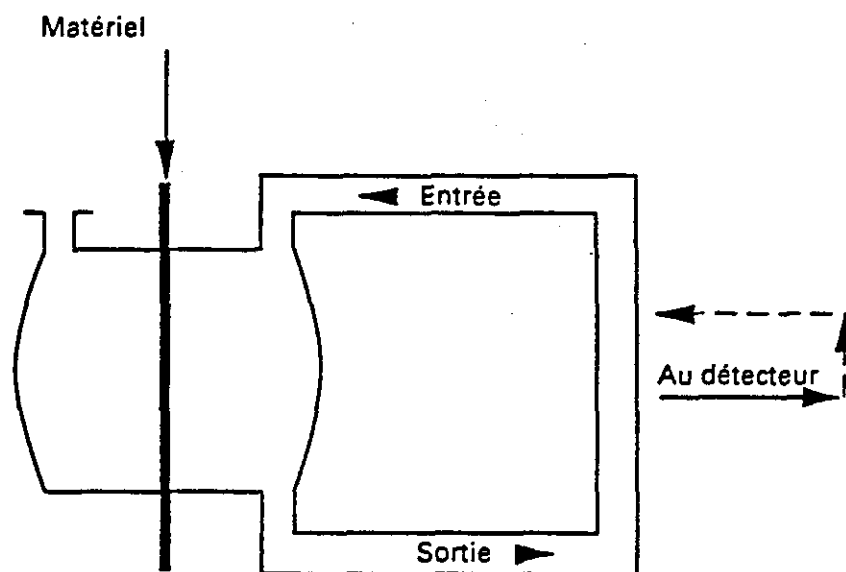


FIGURE 3

- a) SCHEMA D'UN MONTAGE EXPERIMENTAL TYPE A BOUCLE FERMÉE



- b) EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS AVEC UN MONTAGE A BOUCLE FERMÉE

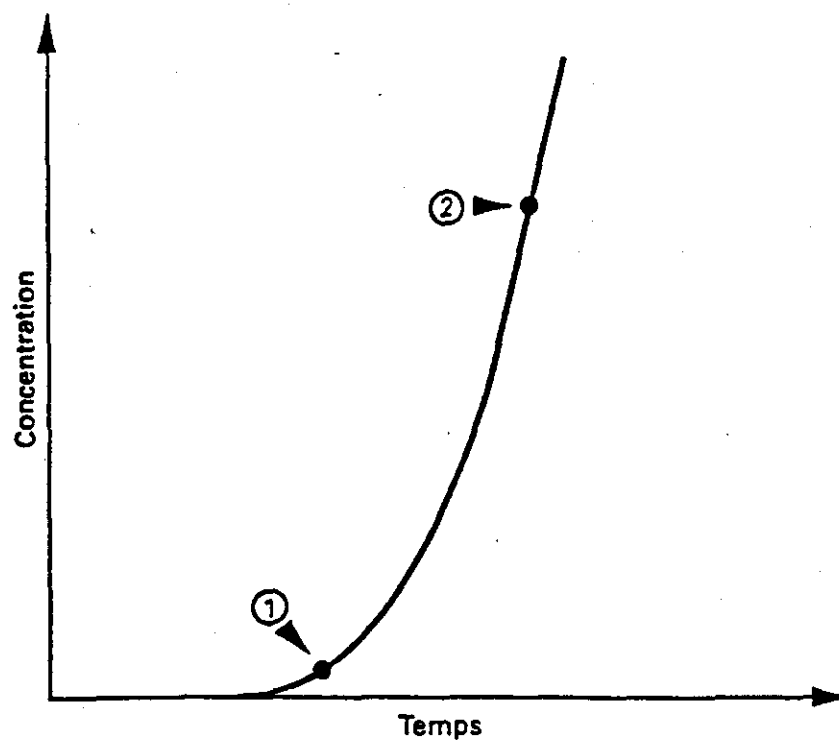
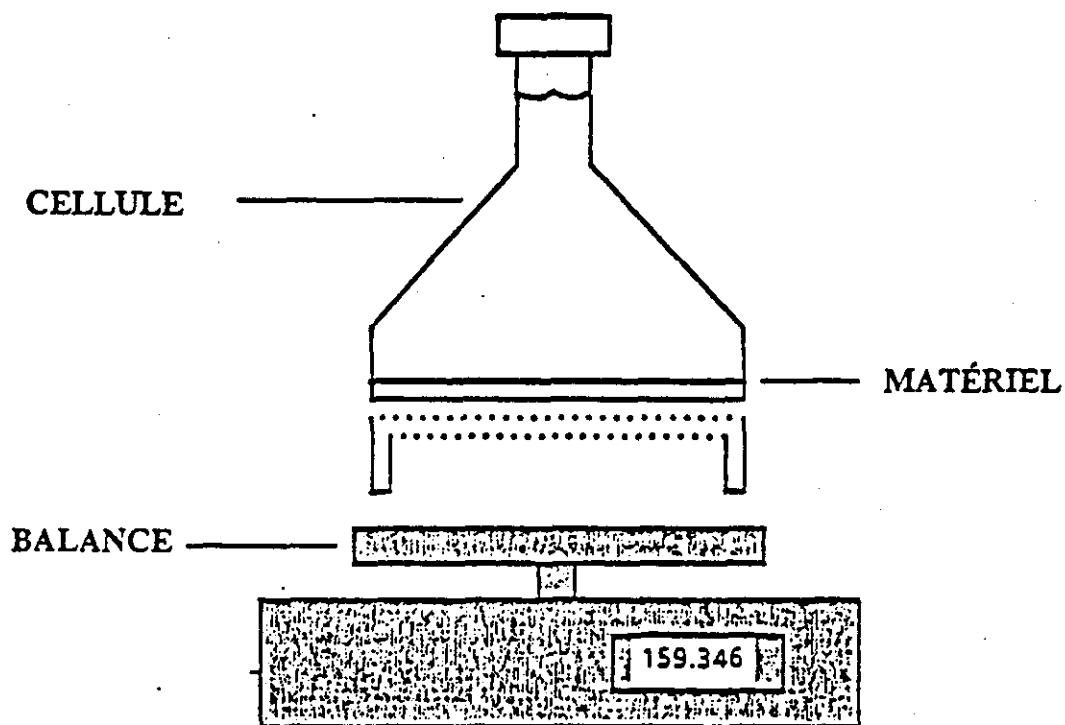


FIGURE 4

a) SCHEMA D'UN MONTAGE EXPERIMENTAL POUR DES ESSAIS GRAVIMETRIQUES



b) EXEMPLE DE RÉSULTATS OBTENUS PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE

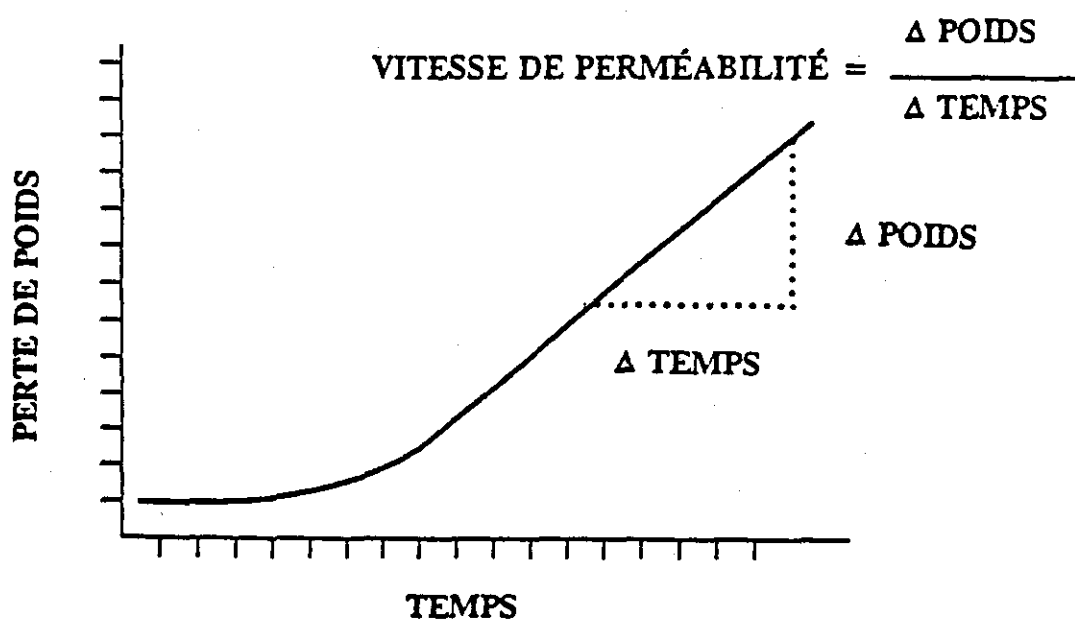


FIGURE 5 SCHÉMA DE LA CELLULE DE PERMÉABILITÉ 1

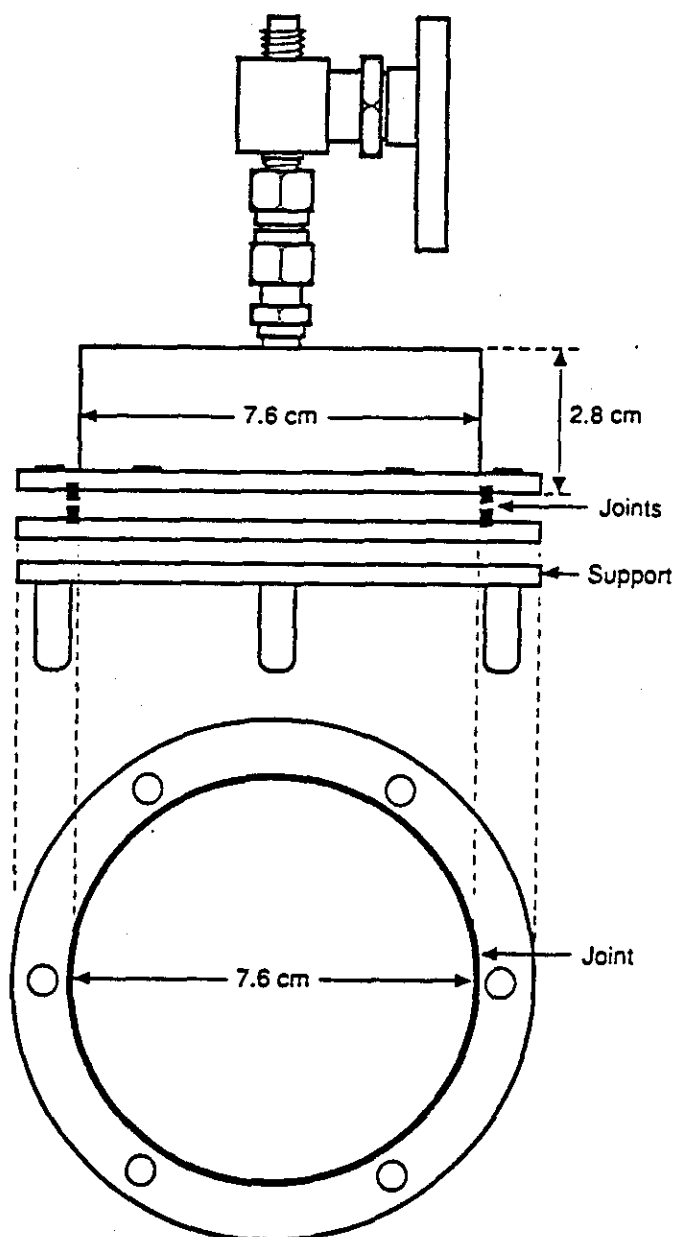


FIGURE 6 COMPARAISON DES TEMPS DE CLAQUAGE OBTENUS PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LA CELLULE 1

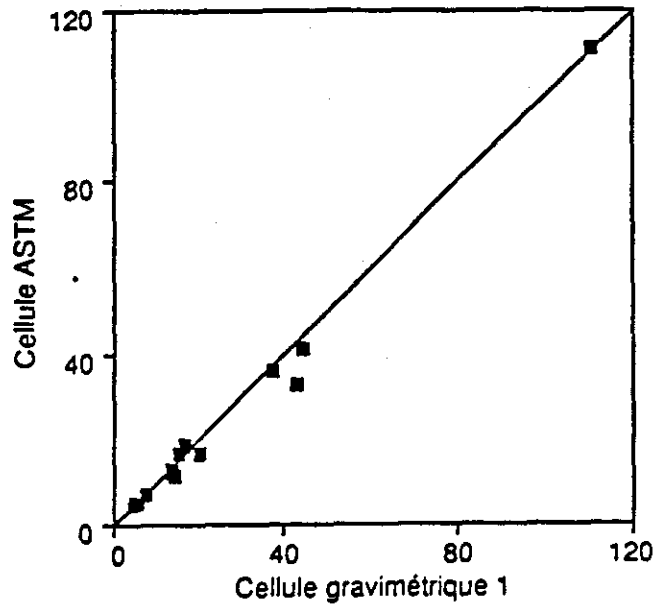


FIGURE 7 COMPARAISON DES VITESSES DE PERMÉABILITÉ OBTENUES PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LA CELLULE 1

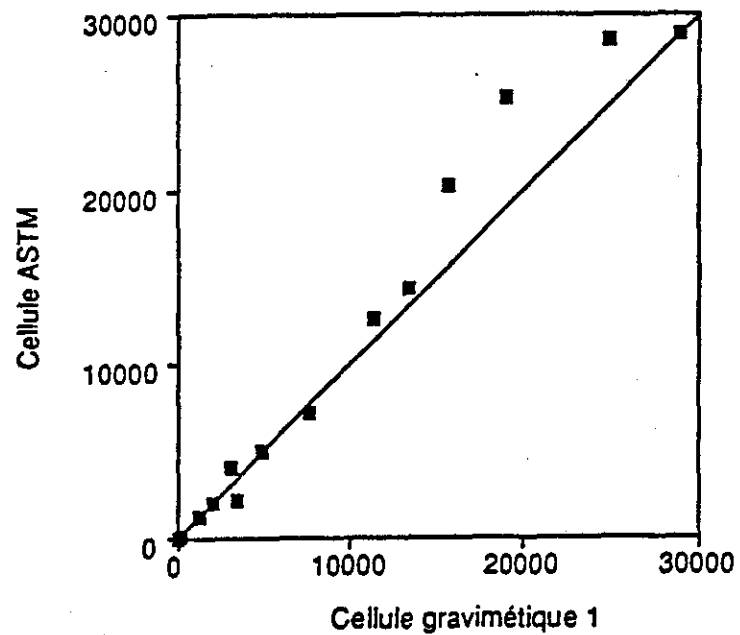


FIGURE 8 SCHÉMA DU "POT MASON" UTILISÉ COMME CELLULE DE PERMÉABILITÉ POUR DES ESSAIS GRAVIMÉTRIQUES

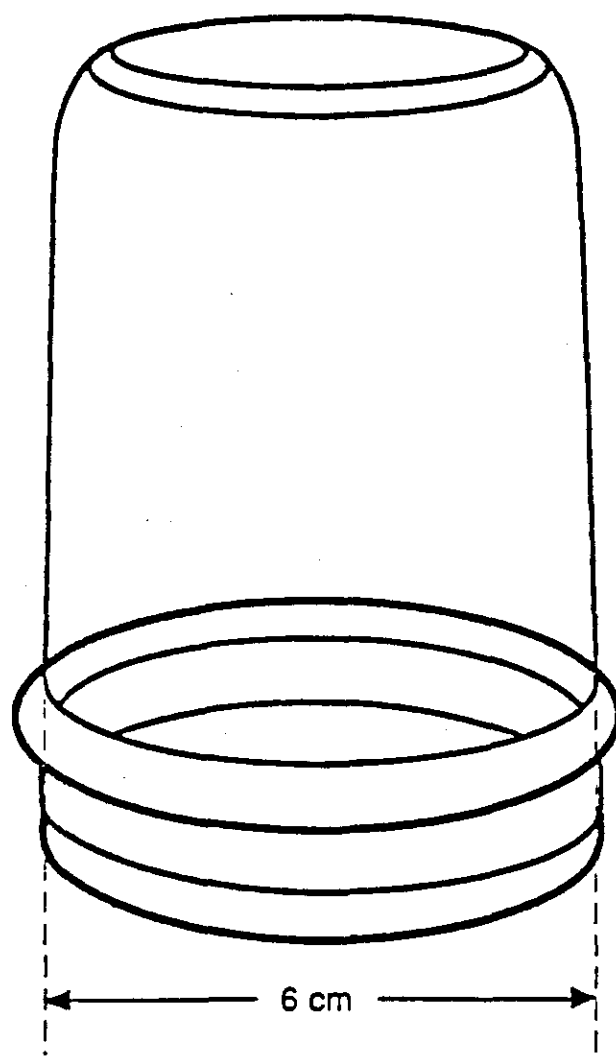


FIGURE 9 COMPARAISON DES TEMPS DE CLAQUAGE OBTENUS PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LE "POT MASON" COMME CELLULE DE PERMÉABILITÉ

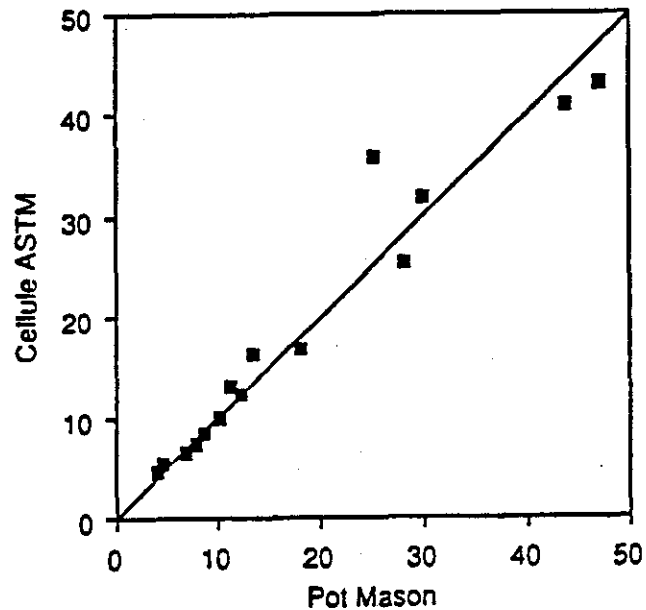


FIGURE 10 COMPARAISON DES VITESSES DE PERMÉABILITÉ OBTENUES PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LE "POT MASON" COMME CELLULE DE PERMÉABILITÉ

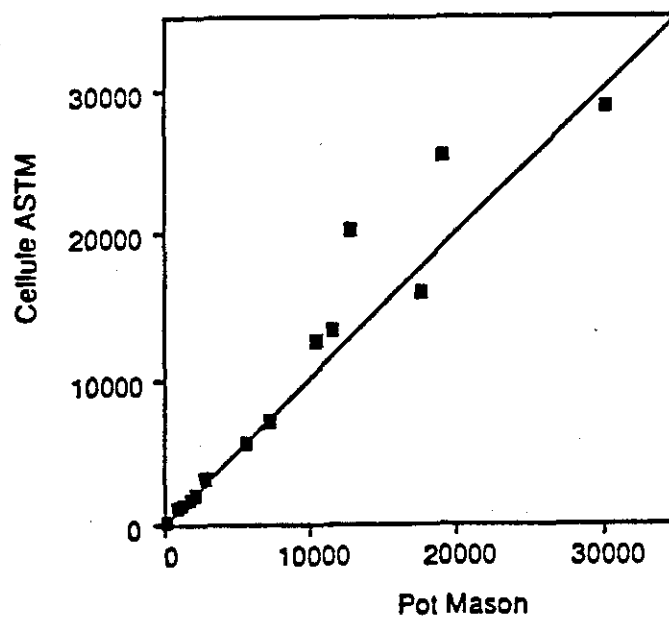


FIGURE 11 PLAN DE LA CELLULE CONIQUE

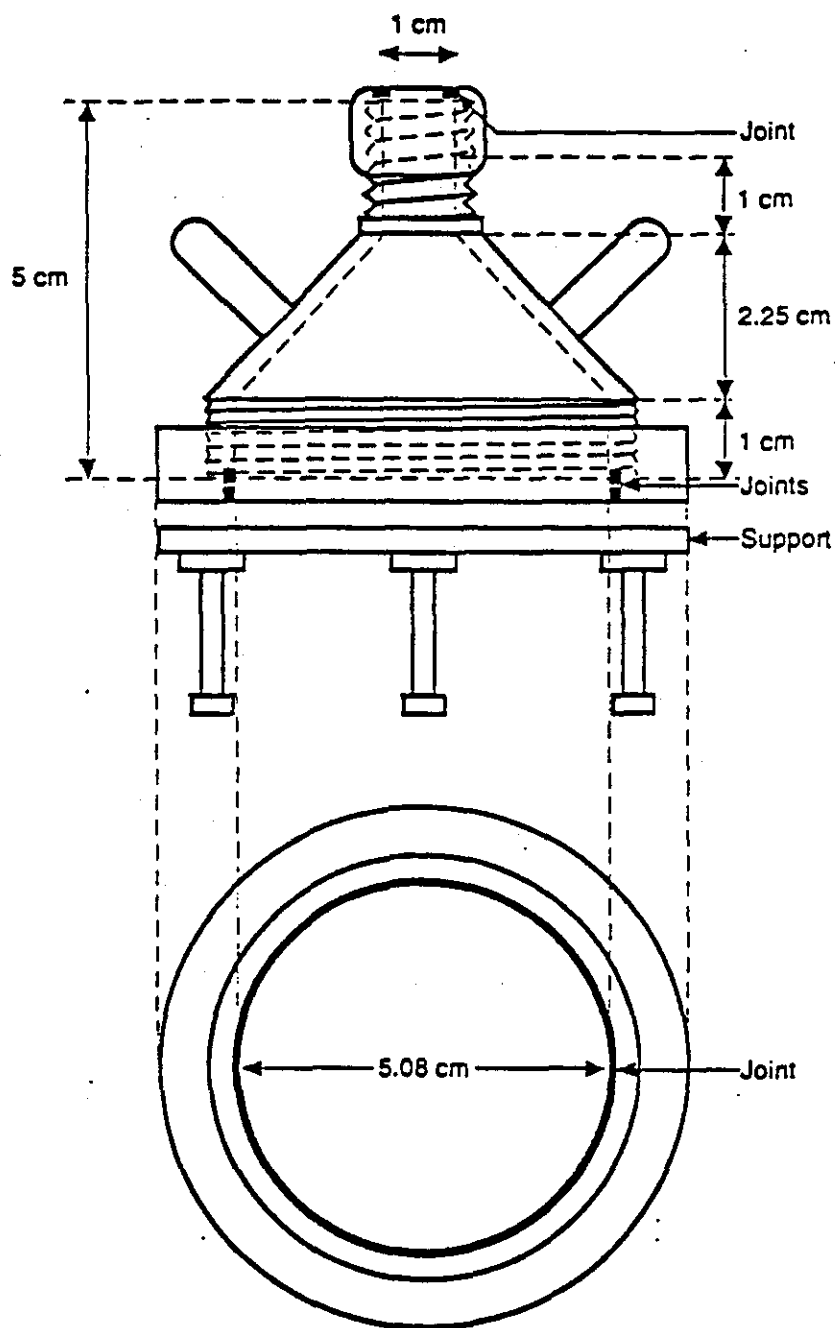


FIGURE 12 COMPARAISON DES TEMPS DE CLAQUAGE OBTENUS PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LA CELLULE CONIQUE

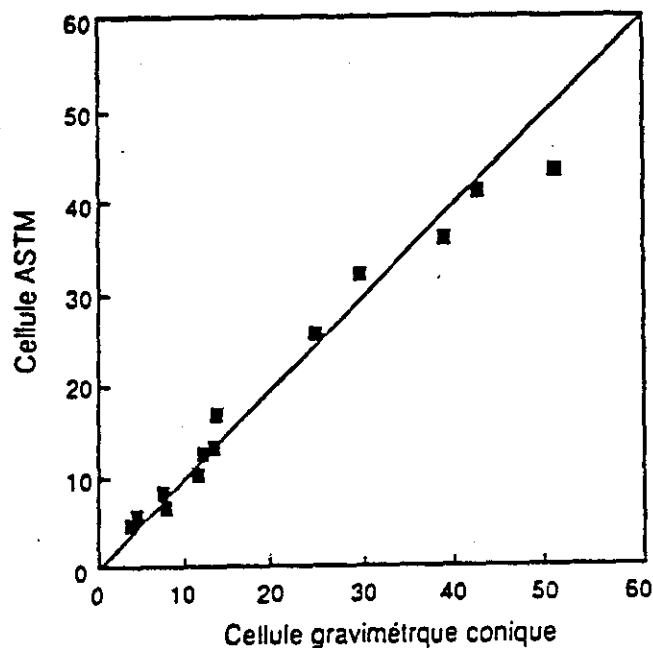


FIGURE 13 COMPARAISON DES VITESSES DE PERMÉABILITÉ OBTENUES PAR LA MÉTHODE ASTM ET PAR LA MÉTHODE GRAVIMÉTRIQUE AVEC LA CELLULE CONIQUE

