

# 7

## Les solvants et la protection de la peau

*par J. Lara, L.-P. Durocher*

Au chapitre de l'interaction entre l'environnement et la peau, le milieu de travail intervient de façon significative dans de nombreuses situations. Déjà en 1929, Schwartz et Tulipan [1] rapportaient que les solvants étaient parmi les premières causes de dermatoses professionnelles aux États-Unis. Ils situaient la principale barrière de défense contre les irritants cutanés au niveau de cellules cornées de l'épiderme. Cette réalité se confirme encore aujourd'hui, les solvants, anciens ou nouveaux, conservant leur propriété générique d'irritants cutanés et leur utilisation étant répandue dans de très nombreux secteurs d'activité. La prévention des effets nocifs des solvants, manipulés à l'état liquide, passe donc souvent de façon obligée par la protection cutanée, qui intervient à double titre : empêcher le développement de dermatoses professionnelles et autres maladies de la peau, et prévenir le passage percutané pouvant mener à des effets sur d'autres organes. Avant d'aborder la protection cutanée dans ses dimensions techniques, les aspects biologiques de la peau comme voie d'entrée et organe cible sont résumés dans un premier temps dans ce chapitre.

### ■ Aspects biologiques

#### ● Anatomie et physiologie de la peau

La connaissance des fonctions de la peau s'est précisée au cours du siècle dernier. En 1917, pour Hartzell, la peau ne représentait qu'une membrane élastique d'épaisseur variable recouvrant le corps humain [2]. Les observations se limitaient alors aux composantes anatomiques de la peau.

Aujourd'hui, on divise encore la peau en trois couches : épiderme, derme, hypoderme; cependant, on lui reconnaît de multiples fonctions physiologiques que Archer résume ainsi [3] : la peau fournit une barrière de protection entre l'environnement et le corps, elle empêche la pénétration d'agresseurs chimiques ou biologiques, elle absorbe les radiations solaires, elle prévient la perte d'eau et d'électrolytes corporels, elle maintient la température corporelle. La peau est, de plus, une barrière mécanique souple qui résiste à l'étirement et à la pression. Elle est aussi une barrière dynamique qui peut se réparer lors de blessures mécaniques, chimiques ou thermiques. Elle est enfin reconnue comme le plus large organe actif en immunologie du

corps humain, qui met à contribution non seulement les cellules épidermiques mais aussi les constituants inflammatoires et immunologiques du derme.

La peau constitue une importante ligne de défense de l'organisme humain contre divers facteurs de l'environnement. Elle correspond à une surface d'environ 1,8 m<sup>2</sup>. La peau exerce la fonction de barrière semi-perméable à double sens. Cette fonction est assurée par la couche la plus externe soit l'épiderme et, au sein de celui-ci, les cellules cornées de surfaces (aussi appelées kératinocytes ou cornéocytes) y jouent un rôle clef. L'épiderme est animé d'un processus dynamique qui permet le renouvellement continu des cellules de surface.

L'épiderme est composé de plusieurs assises cellulaires regroupées de l'extérieur vers l'intérieur en couche cornée, couche granuleuse, couche épineuse et couche basale. Les cellules de l'assise basale se divisent en deux à répétition : l'une de ces cellules demeure sur place pour assurer le renouvellement alors que la seconde migre graduellement vers la surface de la peau. Durant ce cheminement, la cellule épidermique subit de nombreuses transformations. Elle perd graduellement son noyau alors que son cytoplasme se condense, pour ne plus former en surface qu'une mince cellule plate étagée en lamelles cornées accolées les unes aux autres. Ces cornéocytes sont entourés d'un ciment lipidique qui a été sécrété dans les corps lamellaires (ou corps d'Odlund) au cours de leur différenciation dans la couche épineuse et dans la couche granuleuse. Pour maintenir son intégrité, la couche cornée doit conserver une certaine hydratation dans ses cellules de surface. La peau renferme des glandes sébacées dont le rôle est de fournir en surface de la peau du sébum, mélange lipidique qui empêche un assèchement accéléré des cornéocytes de surface.

La surface de l'épiderme se renouvelle ainsi en trois semaines environ. Les cellules de surface desquament imperceptiblement pour être aussitôt remplacées. Ce même processus de renouvellement permet de réparer l'épiderme lésé par des agresseurs de l'environnement.

## ● Absorption percutanée

Bien que son épaisseur soit limitée à dix microns, soit le dixième de l'épaisseur de l'épiderme, la couche cornée constitue le seul rempart contre la pénétration d'agresseurs environnementaux. La pénétration de contaminants par la voie pilo-sébacée joue généralement un rôle négligeable; les orifices folliculaires ne représentent qu'un à deux millièmes de la surface épidermique.

L'absorption percutanée a été étudiée par des techniques *in vivo* et *in vitro* [2]. Des radio-isotopes couplés à une molécule étudiée peuvent servir de traceurs à son absorption à travers la couche cornée *in vivo*. Les évaluations *in vitro* utilisent le plus souvent de la peau excisée en chirurgie ou de la peau de cadavres récents. On peut parfois y substituer de la peau animale mais il existe des différences marquées selon les espèces; les peaux de singe et de porc semblent avoir le plus de concordance avec la peau humaine [4].

Le transport à travers la peau se réalise par diffusion passive et la couche cornée sert de réservoir temporaire aux substances appliquées localement [5]. Lorsqu'à l'état d'équilibre cette diffusion est traduite par la première loi de Fick; ce modèle mathématique indique que le taux de pénétration, par unité de surface, ou flux transcutané, est proportionnel à la concentration appliquée, au coefficient de partage de la substance (soit sa solubilité relative entre la couche cornée et le véhicule dans lequel elle est dissoute), au coefficient de diffusion de la molécule dans la couche cornée et inversement proportionnel à l'épaisseur de la couche cornée [6, 7].

Fiserova-Bergerova et Pierce ont calculé que, pour une surface de peau exposée correspondant à la surface interne des deux mains, lorsque la valeur du flux transcutané, en mg·cm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, dépasse 75 % de la valeur limite d'exposition dans l'air, exprimée en mg/L (au lieu de l'habituel mg/m<sup>3</sup>), alors l'absorption percutanée repré-

sente plus de 30 % de l'absorption respiratoire sur la même période et ne peut pas être négligée [8].

Le tableau 7.1 liste divers solvants industriels reconnus comme pouvant pénétrer de façon significative dans l'organisme à travers la peau, notamment par l'ACGIH aux États-Unis ou la Commission MAK en Allemagne. Les notations de passage percutané de ces organismes alertent l'hygiéniste qu'un prélèvement atmosphérique seul pourrait être insuffisant pour quantifier l'exposition à la substance. Pour certains de ces solvants, une méthode de surveillance biologique de l'exposition, permettant d'intégrer l'absorption cutanée, est disponible.

**Tableau 7.1 – Exemples de solvants pénétrant par la peau**

Éthers de glycol (tous)
Divers alcools (dont méthylique, propylique, n-butylique)
Divers nitriles (dont l'acrylonitrile)
Hydrocarbures aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène, cumène)
Diverses cétones (méthyléthylcétone, méthylisobutylcétone, 2-hexanone)
Hydrocarbures chlorés (tétrachlorure de carbone, tétrachloréthylène)
Divers (N-méthylpyrrolidone, diméthylformamide, diméthylsulfoxyde, disulfure de carbone, éthylène glycol)

On remarque que ces solvants, par nature liposolubles, sont souvent également polaires et non-dénués d'une certaine hydrosolubilité, combinaison qui est reconnue pour faciliter l'absorption cutanée [5]. Dans le cas du benzène, il s'agit d'une substance relativement peu pénétrante mais associée à une valeur limite d'exposition dans l'air très basse, ce qui augmente l'importance relative de tout passage percutané.

Divers facteurs ont une influence sur le passage percutané : état d'abrasion de la couche cornée, inflammation épidermique (dermite, psoriasis), température, hydratation de la couche cornée, présence d'autres substances (p. ex. le DMSO facilite la pénétration d'autres substances en augmentant la perméabilité de la peau).

## ● Interaction entre les solvants et la peau

Les solvants dissolvent le sébum de surface de la peau et les lipides de la couche cornée qui en retiennent l'eau. Cela entraîne des altérations physiques et chimiques des membranes cellulaires, menant à une réaction cutanée de défense. Le dommage causé à la barrière épidermique stimule l'épiderme à se renouveler plus rapidement pour réparer le bris de la couche cornée. Ainsi, l'application d'acétone sur la peau entraîne une synthèse accrue d'ADN au niveau des cellules de la couche basale de l'épiderme [9]. De même, le dommage causé à la couche cornée par un irritant stimule une production accrue de cytokines [10, 11] dont l'activation se manifeste cliniquement par une inflammation de la peau. Une étude immuno-histologique de lésions de dermite de contact irritative chronique y confirme une activité mitotique accrue quatre fois plus importante que dans l'épiderme normal [12]. Divers facteurs peuvent moduler l'intensité de cette irritation : nature et concentration de la molécule irritante, fréquence des contacts avec celle-ci, occlusion au site de contact, état d'irritabilité de la peau exposée [6].

Sous ce dernier aspect, toute condition cutanée comportant une sécheresse ou une altération de surface de l'épiderme favorise l'action délétère des solvants sur la peau. De plus, avec l'âge, la réduction de vitesse de réparation de l'épiderme à la suite d'une irritation chimique accroît le risque de dermite de contact irritative par exposition répétitive [13].

Chez tout individu affecté de lésions d'eczéma endogène, le risque de détérioration de son état est accru s'il est exposé à des solvants parce que sa barrière

de défense naturelle est affaiblie. Concrètement, les atopiques sont le plus à risque de se retrouver dans cette situation.

Les porteurs de dermite atopique ou de diathèse atopique présentent une intolérance accrue à l'irritation. L'exposition aux irritants cutanés est le facteur le plus fréquent de détérioration de la dermite atopique [14]. Même en l'absence de lésion active de dermite atopique, la prédisposition génétique demeure un facteur accru de risque. Ainsi, en étudiant l'absorption du xylène, Engstrom et coll. ont observé l'apparition d'un eczéma toxique chez un sujet ayant des antécédents de dermite atopique mais exempt de lésion cutanée au moment de l'expérimentation; ce sujet a présenté un taux d'absorption du xylène trois fois supérieur à la moyenne observée dans le reste du groupe expérimental [15].

## ● Manifestations cliniques des solvants sur la peau

### **Dermite de contact irritative**

Les solvants sont des dégraissants qui assèchent la peau et, à divers degrés, des irritants cutanés. Il en résulte que la réaction cutanée la plus souvent observée à la suite d'exposition aux solvants est la dermite de contact irritative. Le spectre clinique d'irritation rapporté suite à l'exposition à des irritants cutanés comporte : irritation subjective sans signe objectif, réaction d'irritation transitoire, dermite de contact irritative aiguë, dermite de contact irritative sub-aiguë, dermite de contact irritative chronique [16]. La dermite de contact irritative est une réaction inflammatoire de la peau impliquant des médiateurs chimiques et immunologiques mais sans implication de lymphocytes T-mémoire. À l'encontre, la dermite de contact allergique entraîne la production de lymphocytes T-mémoire à la suite d'une stimulation de lymphocytes T par un antigène (ou haptène).

La dermite de contact secondaire à l'exposition aux solvants est une maladie professionnelle reconnue, identifiable par des signes cliniques. Cependant, le contact d'un solvant avec la peau n'engendre pas toujours une maladie de la peau; il existe des réactions dites sub-cliniques. Celles-ci peuvent n'entraîner qu'un inconfort passager ressenti par l'individu sans signe apparent pour l'observateur. Dans d'autres cas, un érythème passager apparaît mais il disparaît spontanément si cesse l'exposition; on parle alors d'une réaction d'irritation transitoire mais non d'une dermite de contact. Il existe maintenant des techniques permettant de détecter une réaction sub-clinique de la peau avant même que l'œil ne la perçoive. Il s'agit de méthodes non invasives mesurant la perte d'eau trans-épidermique par évaporimètre, l'augmentation du flux sanguin local par laser-doppler et l'hydratation de la peau par capacitance. Ces mesures aident à évaluer des manifestations difficiles à objectiver [6].

La dermite de contact irritative dans chacune de ses manifestations cliniques comporte une sensation de démangeaison ou plus souvent de brûlure.

La dermite de contact en phase aiguë se présente sous forme de macules ou papules érythémateuses formant des plaques parfois indurées ou œdémateuses selon la puissance et la concentration de l'irritant en cause. Des vésicules peuvent apparaître entraînant un suintement de la lésion. En situation extrême, la dermite de contact aiguë peut s'accompagner de plaques noirâtres témoignant de nécrose épidermique.

La dermite de contact irritative subaiguë ou cumulative se développe généralement à la suite d'une exposition répétitive à des irritants de puissance faible ou modérée. On la retrouve le plus souvent chez les travailleurs qui ont conservé l'habitude de se laver les mains avec des solvants. Ainsi, en est-il des peintres nettoyant leurs mains avec des distillats de pétrole, des travailleurs du plastique utilisant de l'acétone, des pressiers en imprimerie qui nettoient leur presse avec des solvants, des mécaniciens nettoyant les pièces d'automobile avec de l'essence. Dans ces cas,

l'action des solvants sur la peau est insidieuse et progressive. Cliniquement, on observe d'abord une sécheresse de plus en plus marquée de la peau puis un érythème suivi de plaques rouges et squameuses avec éventuellement des fissures.

Lorsque l'exposition en phase subaiguë se prolonge, la dermatite de contact irritative chronique apparaît. Sur la zone d'exposition répétitive, la peau présente des plaques érythémato-squameuses lichénifiées et fissurées où l'on retrouve une perte nette de la souplesse cutanée.

### **Dermite de contact allergique et urticaire**

Dans de rares cas, l'implication d'un allergène provoquera l'apparition d'une dermatite de contact allergique après de nombreuses expositions au même allergène. Parmi les solvants allergènes potentiels, on retrouve le d-limonène, la térébenthine, le dioxane, le styrène et certains alcools (p. ex. de très rares cas avec l'éthanol et l'alcool isopropylique) [17, 19]. Notons que l'agent actif pourra dans certains cas être un additif ou un produit de dégradation. L'exposition concomitante à un irritant et à un allergène accroît la réaction de la peau à l'allergène [20]. Cette double exposition peut se produire lors de contact avec des solvants, mais heureusement des allergènes sont rarement impliqués. La confirmation de l'implication d'un allergène s'obtient en recourant à la technique de test épicutané (« *patch test* ») disponible dans un centre spécialisé. La production de lymphocytes T-mémoire spécifiquement sensibilisés lors d'une dermatite de contact allergique permet de retracer l'allergène impliqué même après la guérison des lésions et après de nombreux mois sans nouvelle exposition à l'allergène recherché. Le test reproduira sur la zone exposée une dermatite de contact localisée.

L'urticaire est habituellement une manifestation immunologique de type 1 impliquant des IgE. Certains solvants peuvent produire une urticaire de contact qui peut être de nature immunologique ou non. Ainsi, en est-il de certaines réactions provoquées par des alcools, du trichloréthylène, de la méthyléthylcétone, du naphta, du diméthylsulfoxyde et du xylène [17].

### **Autres effets**

Le développement de lésions cutanées de type sclérodermique a été rapporté suite à l'exposition à des solvants. Sont soupçonnés les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, le perchloréthylène et le trichloréthylène [4, 6]. Des déformations unguéales de type koïlonychie (déformation concave en forme de cuillère) ont été observées suite à l'exposition notamment au trichloréthylène, au perchloréthylène, au benzène, au toluène, au xylène [17].

## ■ La protection de la peau

### ● Introduction

Pour protéger la peau d'un contact avec des solvants, on devrait utiliser des vêtements de protection résistant à ces produits (des gants, tabliers, manchons, habits complets ou bottes). Cependant, cette protection, comme toute protection individuelle, ne devrait être utilisée que lorsque aucune autre mesure n'est efficace pour éviter le contact des solvants avec la peau. L'on peut aussi faire usage de vêtements de protection en combinaison avec des mesures de réduction de l'exposition aux solvants.

Lorsque l'on fait référence aux vêtements de protection aux solvants dans ce chapitre, il s'agit en général de tous les matériaux utilisés dans la fabrication de gants, ainsi que des combinaisons, des capuchons anti-éclaboussures, des bottes et autres

vêtements. Cependant, étant donné que la plupart de l'information trouvée dans la littérature porte sur les gants de protection, nous en parlerons ici davantage.

Les matériaux utilisés dans la fabrication des vêtements de protection sont à base de polymères résistant aux produits chimiques. Cependant, ces matériaux ont une résistance limitée qui est fonction du type de polymère et du type de solvant avec lequel il est en contact. *Aucun polymère ne résiste indéfiniment à un solvant directement en contact; le solvant finira tôt ou tard par le traverser.* Il est important d'attirer l'attention du lecteur sur le fait que les fiches signalétiques des solvants (ou fiches de données de sécurité, FDS) font souvent la recommandation de porter un gant « imperméable » lors de la manipulation d'un solvant donné. En fait, aucun matériau utilisé dans la fabrication des vêtements de protection n'a la propriété d'être imperméable aux solvants.

Les matériaux protecteurs peuvent être plus ou moins perméables dépendant des interactions entre le polymère de base et le solvant. Le choix d'une protection cutanée est donc complexe et doit être basé sur des informations valides, trouvées notamment dans des banques d'information [21]. Dans celles-ci l'information provient soit d'essais réalisés dans des laboratoires spécialisés, rapportés dans des articles scientifiques, soit de données fournies par les fabricants eux-mêmes, basées sur leurs propres essais. Il est aussi possible d'obtenir de l'information en s'adressant directement aux fabricants des vêtements de protection.

Malgré le fait qu'il existe une quantité importante d'information dans les bases des données, cette information demeure souvent limitée, car la plupart des résultats rapportés proviennent d'essais réalisés avec des solvants purs alors que les solvants industriels sont le plus souvent des mélanges. De plus, il est physiquement impossible de caractériser la résistance de chaque matériau avec chaque solvant industriel, pur ou mélange. Des approches théoriques, présentées plus loin, prennent en considération le type d'interaction entre solvants et polymère.

## ● Les matériaux

Les matériaux des vêtements et gants utilisés pour se protéger du contact avec les solvants sont à base de caoutchouc ou de plastique. Parmi les caoutchoucs les plus utilisés pour les gants, on retrouve le néoprène, le caoutchouc nitrile, qui sont synthétiques, et le caoutchouc naturel. Parmi les matériaux plastiques, on retrouve principalement de polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène (PE) et l'alcool polyvinylique (PVA). Dans le cas des matériaux des vêtements de protection, on retrouve notamment le Saranex<sup>MD</sup>, le Tyvex<sup>MD</sup> et des matériaux laminés. Une liste des matériaux les plus utilisés dans la fabrication des gants et des vêtements de protection aux solvants est présentée au tableau 7.2.

Tout comme aucun matériau ne peut résister indéfiniment au passage d'un solvant, même s'il a été prouvé expérimentalement qu'il a une résistance très élevée, aucun des matériaux de vêtements de protection ne peut résister à toutes les classes de solvants.

La solubilité d'un solvant dans un polymère est un paramètre déterminant de la résistance du matériau au solvant. Plus la solubilité du solvant dans le polymère sera élevée, plus faible sera la résistance du matériau au solvant et *vice-versa*. Dans certains cas, il est possible de constater visuellement cet effet. Par exemple, lorsqu'un solvant est très soluble dans le matériau d'un gant, le matériau va gonfler provoquant une déformation du gant. Dans d'autres cas, le solvant peut provoquer une dégradation du matériau qui peut résulter en un changement de couleur ou bien l'endommager suffisamment pour une détection visuelle. D'autres fois, le matériau peut avoir une faible résistance au solvant mais aucune déformation ni détérioration du matériau n'est observable. En effet, le solvant peut diffuser très rapidement à travers le matériau sans laisser aucune trace visible ce qui peut souvent induire en erreur sur le niveau de résistance au solvant. Ceci est le cas le plus commun et c'est

**Tableau 7.2 – Liste des matériaux les plus utilisés dans les vêtements et gants de protection aux solvants industriels**

Nom commercial	Polymère	Compagnie	Type de vêtement
Caoutchouc néoprène	Polychloroprène		Gants/combinaisons/bottes
Caoutchouc nitrile	Copolymère butadiène-acrylonitrile (NBR)		Gants/combinaisons/bottes
PVC	Polychlorure de vinyle		Gants/combinaisons/bottes
PVA	Alcool polyvinylique		Gants
Caoutchouc butyle	Copolymère isobutylène-isoprène		Gants/combinaisons/bottes
Caoutchouc naturel	Poly cis-isoprène		Gants
PE	Polyéthylène		Gants/combinaisons/bottes
Téflon (MD)	PTFE, FEP, PFA	DuPont	Gants/combinaisons/bottes
Tychem (MD)	Laminé, films non-halogénés	DuPont	Combinaisons
Chemrer (MD)	Multicouches sur PP souple	Chemron	Combinaisons
Nomex (MD)	Fibre de polyamide aromatique	DuPont	Combinaisons
Silver Shield (MD)	Film multicouche	Siebe North Inc.	Gants
Viton (MD)	Caoutchoucs fluorocarbonés	DuPont Dow	Gants/combinaisons
Saranex (MD)	Film coextrudé de PE, PVDC et EVA ou EVAC	Dow Chemical	Combinaisons
4H (MD)	Film multicouches PE/EVAL/PE	Safety 4H	Gants
Barricade (MD)	Laminé multicouches	DuPont	Combinaisons
Responder (MD)	Laminé multicouches	Life-Guard	Combinaisons
Trellechem (MD)	Compositions variées (Viton, néoprène, butyle, PVC, etc)	Trelleborg	Combinaisons

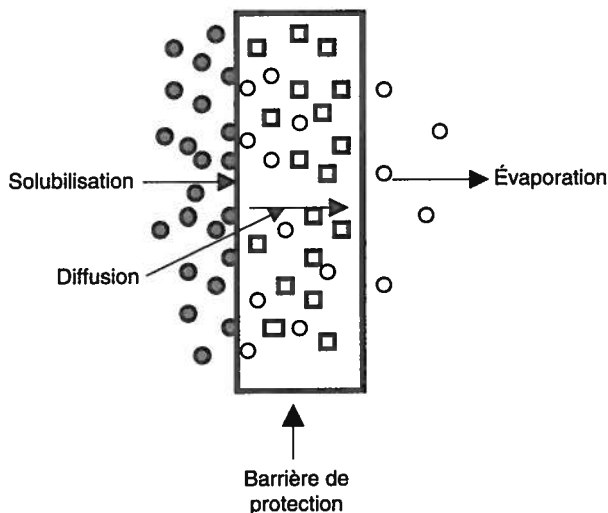
PE = Polyéthylène; PP = Polypropylène; PTFE = Polytétrafluoroéthylène; FEP = Plastique éthylène/propylène perfluoré; PFA = Perfluoroalkoxy; EVOH ou EVAL = Éthylène alcool vinylique; EVA ou EVAC = Éthylène acétate de vinyle; PVDC = Chlorure de polyvinylidène; MD = Marque déposée.

pour cette raison que des tests ont été développés pour caractériser la résistance des matériaux aux solvants.

## ● Caractérisation de la résistance des matériaux aux solvants

### Définition de la perméation

La perméation est la diffusion du solvant à travers la membrane de protection. Cette diffusion se fait au niveau moléculaire et le solvant diffusant se trouve à l'état gazeux, dans les espaces vides (« trous ») existant à l'intérieur du polymère.



**Figure 7.1** - Représentation du phénomène de perméation. Les cercles représentent le solvant (foncé = liquide, clair = gazeux), les carrés les charges minérales pouvant être présentes dans les matériaux de protection.

La perméation est représentée comme un phénomène qui se produit en trois étapes. La première est la solubilisation du solvant à la surface de la membrane de protection; la deuxième est la diffusion des vapeurs du solvant à travers la membrane; la troisième est l'évaporation du solvant à la surface interne de la membrane en contact avec la peau (figure 7.1).

La durée après laquelle les premières traces de vapeur de solvant sont détectées à la paroi interne de la membrane est appelée temps de claquage (ou temps de percée). Le taux de perméation, exprimé en  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ , décrit la vitesse de diffusion du solvant à l'intérieur du matériau. Ces deux paramètres servent à caractériser la résistance d'un matériau protecteur aux produits chimiques.

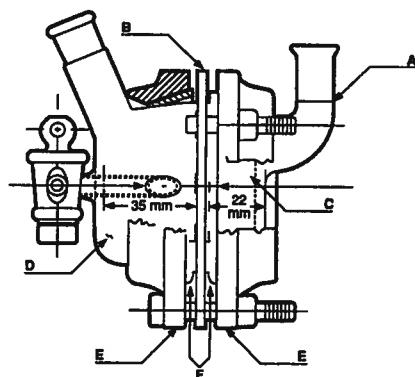
### **Théorie de la perméation**

Par analogie avec les gaz et selon la première loi de Fick, le débit massique ( $J$ ) par unité de surface, ou taux de perméation, d'une substance diffusant à travers une membrane est proportionnel au gradient de concentration dans la membrane entre la paroi externe et la paroi interne du polymère et au coefficient de diffusion ( $D$ ) de la substance dans le polymère. Le coefficient de diffusion (ou diffusivité) caractérise la mobilité de la molécule dans le matériau et peut s'exprimer en  $\text{cm}^2\cdot\text{min}^{-1}$ . La concentration de la substance dépendant elle-même directement de sa solubilité dans le polymère, on voit que les trois paramètres contrôlant le taux de perméation sont la solubilité, le coefficient de diffusion et l'épaisseur de la membrane. Les temps de claquage et taux de perméation peuvent être déterminés expérimentalement à partir d'un test de perméation.

### **Mesure de la perméation**

Le premier test de perméation pour caractériser la résistance des vêtements de protection aux produits chimiques a été normalisé par le comité F-23 on Protective Clothing de l'ASTM en 1987 avec la norme F 739 dont la dernière version date de 1999 [22]. Pour ce test, on utilise une cellule en verre qui est représentée à la figure 7.2.





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

Figure 7.2 - Cellule de perméation de la norme ASTM F739.

Cette cellule a deux chambres séparées, l'une pour loger le liquide (ou gaz) et l'autre pour collecter les vapeurs du solvant qui ont traversé le matériau. Entre les deux chambres, on installe deux joints en Téflon ayant un diamètre interne de 5,08 cm et entre ces joints, on installe le matériau à caractériser. Il existe une version réduite de cette cellule de perméation qui a un diamètre de 2,54 cm qui fera partie de la nouvelle version de la norme ASTM F 739 qui est en révision; cependant la forme de la cellule reste la même. La cellule est logée dans un assemblage en métal qui a trois boulons placés symétriquement qui servent à retenir les deux parties de la cellule et à les serrer pour assurer l'étanchéité lors du test. Une fois le tout installé, on verse le solvant dans la première chambre («*challenge chamber*») jusqu'à la remplir. Dans la chambre de collecte («*collecting chamber*»), on recueille les vapeurs de solvant traversant le matériau pour les envoyer dans un système d'analyse adéquat (p. ex. un détecteur à ionisation de flamme ou un détecteur infrarouge). Pour collecter les vapeurs du solvant diffusant, on fait circuler un gaz ou un liquide qui transporte les vapeurs au détecteur. Généralement, on utilise de l'azote comme gaz collecteur ou alors de l'eau saline pour simuler la transpiration.

Le type d'information obtenu lors d'un test de perméation est représenté à la figure 7.3. Les figures 7.3a et 7.3b correspondent aux résultats de perméation obtenus avec deux types de montage, à circuit ouvert et à circuit fermé. Dans les deux cas, le fluide collecteur est circulé constamment dans la chambre de collecte avec un débit contrôlé.

Dans le montage en circuit fermé (figure 7.3a), le fluide collecteur est amené au système d'analyse pour ensuite être recirculé. La détection des premières traces du solvant définit le claquage. Le taux de perméation est mesuré à l'équilibre, soit lorsque la pente de la courbe est constante, et est proportionnel à cette pente.

La figure 7.3b est la forme la plus classique pour présenter les résultats de perméation. Elle correspond aux résultats obtenus avec un montage expérimental à circuit ouvert, dans lequel le fluide collecteur est éliminé après analyse. La concentration du solvant dans la chambre de collecte augmente exponentiellement après le claquage puis atteint, à l'équilibre, un plateau qui est proportionnel au taux de perméation.

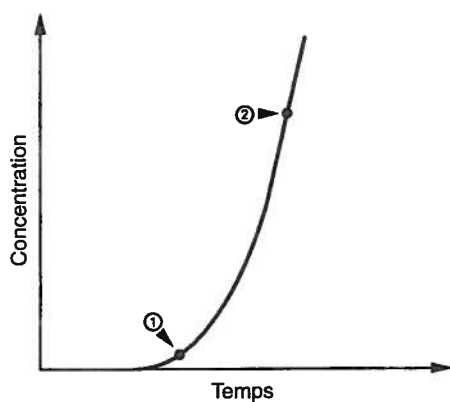


Figure 7.3a

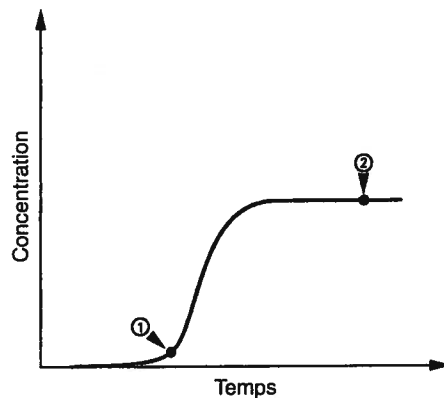


Figure 7.3b

**Figure 7.3** - Concentration du contaminant accumulé dans la chambre de collecte lors d'un test de perméation en utilisant un montage à circuit fermé (figure 7.3a) et concentration instantanée obtenue avec montage à circuit ouvert (figure 7.3b). Le point 1 représente le temps de claquage et le point 2 représente le temps où le taux de perméation à l'équilibre peut être calculé.

Les informations obtenues par les tests de perméation servent à déterminer le niveau de résistance d'un matériau au produit chimique et sont utilisées pour la sélection de la meilleure protection cutanée [23]. Plus le temps de claquage est élevé, plus le matériau est résistant au solvant. Un temps de claquage élevé correspond en même temps à un taux de perméation faible.

Il est aussi possible de mesurer la perméation du solvant par une méthode gravimétrique [24]. Dans ce cas, la cellule de perméation n'a qu'une chambre servant à loger le solvant liquide et fermée par le matériau lui-même. Elle est placée sur une balance et le passage du solvant à travers le matériau est suivi par la perte de poids lors de l'évaporation du solvant suivant le claquage.

### Interprétation de l'information sur la perméation

L'information qu'on trouve dans les bases de données est présentée en termes de temps de claquage (en minutes) et taux de perméation (en  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Il est possible qu'on y retrouve des valeurs de temps de claquage très différentes pour une même paire solvant - matériau suivant le niveau de détection du système d'analyse utilisé. La figure 7.4 illustre cette question. Elle représente les courbes de perméation de deux couples solvant-matériau (a et b) avec deux systèmes d'analyse (1 et 2). Dans un cas (courbe a), correspondant à une perméation élevée, le claquage est détecté dans un temps très court et la différence dans les temps de claquage rapportés selon les deux systèmes d'analyse sera petite, même si le système d'analyse 1 est beaucoup plus sensible que le 2. Dans le cas de la courbe b, qui correspond à un taux de perméation plus faible, la différence des limites de détection se fait beaucoup plus sentir et les temps de claquage selon les deux systèmes sont très différents.

Dans un cas extrême, un laboratoire pourra rapporter une valeur de temps de claquage alors que l'autre laboratoire ne pourra pas détecter le passage du solvant à travers le matériau.

Les normes ASTM F 739 [22] et EN 374-3 [25] spécifient que le temps de claquage doit être rapporté à un taux de perméation déterminé. Pour la norme ASTM, le temps de claquage est établi à un taux de perméation de  $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$  et pour la norme européenne, il est à  $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ .

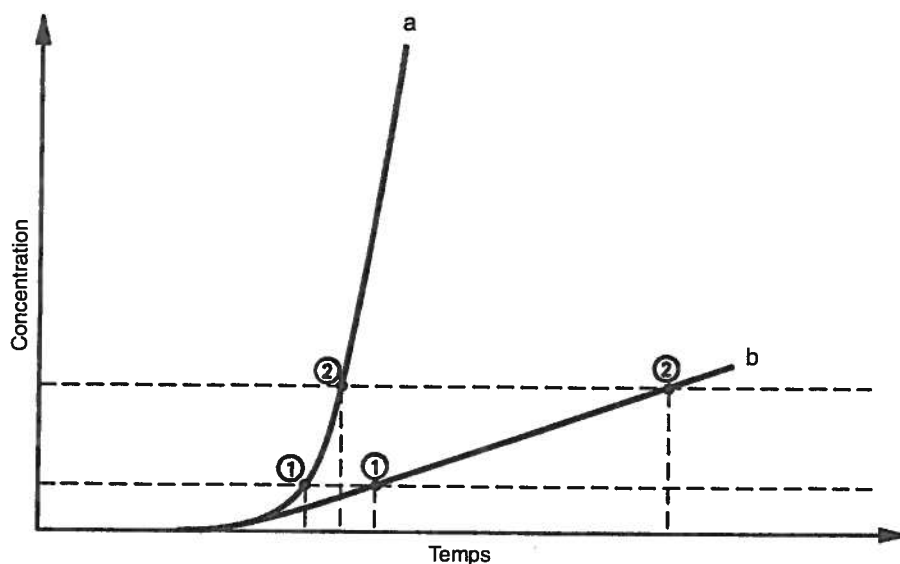


Figure 7.4 – Effet de la limite de détection du système d'analyse sur le temps de claquage rapporté. Les systèmes d'analyse sont identifiés par les numéros 1 et 2.

### Présentation de l'information sur la perméation

Voici une liste non exhaustive des sources d'information sur la résistance des matériaux protecteurs aux solvants et leurs adresses Internet :

- Ansell : [www.ansell-edmont.com](http://www.ansell-edmont.com)
- Best : [www.chemrest.com](http://www.chemrest.com)
- MAPA : [www.mapaglove.com/ce/ChemicalSearch.asp](http://www.mapaglove.com/ce/ChemicalSearch.asp)
- Kimberly-Clark : [www.euro.k-caway.com/fr/index.asp](http://www.euro.k-caway.com/fr/index.asp)
- Memphis Glove : [www.memphisglove.com/permeation\\_all.html](http://www.memphisglove.com/permeation_all.html)
- NIOSH : [www.cdc.gov/niosh/ncpc/ncpc2.html](http://www.cdc.gov/niosh/ncpc/ncpc2.html)
- University of California : [www.ehs.ucsd.edu/lab/glove.htm](http://www.ehs.ucsd.edu/lab/glove.htm)

Au tableau 7.3, on retrouve des exemples de la forme sous laquelle l'information sur la résistance des matériaux aux solvants est présentée dans les bases de

Tableau 7.3 – Exemple de présentation des résultats de perméation pour des gants de protection

Solvant	Compagnie Modèle	Épaisseur (mm)	Temps de claquage (min)	Niveau* EN 374	Taux de perméation $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$
Toluène	Best, Nitril Solve 727	0,55	26	1	255
Toluène	Best, Viton	0,80	238	4	68
Essence de thérébentine	Ansell, Solvex 37- 145	0,45	30	2	
2-Butoxy-éthanol	Ansell, Barrier	0,07	> 480	6	

\*Classification de la résistance des matériaux aux produits chimiques selon la norme EN 374.

Temps de claquage (passage) Niveau 0, < de 10 min; Niveau 1, > de 10 min; Niveau 2, > 30 min; Niveau 3, > 60 min; Niveau 4, > 120 minutes; Niveaux 5 et 6, > 240 minutes.

données et par les fabricants. Nous avons aussi inclus l'information sur le système de classification européen suivant la norme EN 374-3 [25]. En effet, cette norme établit une classification de la résistance des matériaux de sept niveaux, de 0 à 6, selon le temps de claquage.

### Autres paramètres à considérer

**L'épaisseur.** Le taux de perméation est inversement proportionnel à l'épaisseur du matériel. Conséquemment pour un type de matériau d'une même compagnie, plus le matériau est épais plus le temps de claquage est élevé et le taux de perméation est faible. Cependant, il n'est pas possible de comparer la résistance des matériaux de différentes épaisseurs entre différents fabricants à cause des variations dans les procédés de fabrication et la composition des matériaux.

**La nature du matériau.** La quantité d'information disponible sur la résistance des matériaux aux solvants permet d'orienter le choix vers ceux qui offrent la meilleure protection cutanée en fonction du risque. À titre d'exemple, nous savons qu'un gant, dont le polymère de base est le caoutchouc nitrile (copolymère butadiène – acrylonitrile), ne sera pas résistant à l'acétone ou à des solvants de la famille des cétones comme la méthyléthylcétone ou la méthylisobutylcétone. Peu importe le procédé de fabrication de ce type de gant ou de son épaisseur, ce matériau ne résiste pas à ces solvants. Le guide de sélection de Forsberg et Mansdorf, un guide de poche facile à utiliser, résume l'information de plus de 12 000 tests [26]. Celui de Forsberg et Keith contient de l'information plus détaillée avec les résultats d'environ 10 500 tests de perméation [27]. Le tableau 7.4 présente la résistance des quelques matériaux de protection à certains des solvants les plus utilisés en milieu de travail.

Dans aucun cas on ne devrait utiliser un gant de protection dont le matériau est non résistant à un solvant. Cependant lorsqu'un matériau est résistant au solvant, le choix devra être basé sur les données de temps de claquage. Le choix d'un matériau plus ou moins épais sera déterminé par la durée d'utilisation et le type de manipulation. Par exemple, un gant mince permet une meilleure dextérité, mais il est moins résistant aux solvants. La plupart des gants de protection doivent être considérés comme jetables.

### Dégradation du matériau

Au contact du matériau, le solvant peut le dégrader, le gonfler ou diffuser à travers sans le dégrader. En effet, si la solubilité du solvant dans le matériau est importante, des changements dans les propriétés du matériau peuvent être observables. Ceci peut entraîner la destruction du matériau ou bien la perte de ses propriétés physiques (p. ex. perte d'élasticité, matériau devenant cassant, perte de résistance mécanique à la perforation ou à la coupure). Dans ce cas, on parle de dégradation du matériau.

Bien qu'il n'existe pas de méthode normalisée pour caractériser la dégradation d'un matériau par l'action d'un solvant, tout changement des propriétés observables devrait amener à son élimination dans le processus de sélection d'une protection cutanée. Au cas où il n'existe pas d'information sur la résistance du matériau au solvant contre lequel on veut se protéger, un simple test d'immersion pourrait donner l'information sur la dégradation du matériau. La méthode consiste à immerger une pièce du matériau dans le solvant et détecter tout changement (changements de couleur, gonflement ou destruction du matériau) après 5 minutes (niveau 1), 30 minutes (niveau 2), une heure (niveau 3) et quatre heures (niveau 4).

Lorsqu'il n'y a pas de dégradation visuellement observable, il faut déterminer le niveau de solubilité du solvant dans le matériau par pesée. Le matériau immergé dans le solvant est retiré à des périodes de temps régulières et pesé jusqu'à poids constant [28].

Tableau 7.4 – Exemple de résistance des matériaux à des solvants courants (source Réf 26)

Solvants	Matériaux de protection									
	Néoprène	Nitrile	Butyle	Caoutchouc naturel	PVC	PVA	Saranex	Gant laminé*	Téflon	Viton
Toluène	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R
Xylènes	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R
Styrène	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R
Cyclohexane	NR	R	NR	NR	NR	R	R	R	R	R
d-Limonène	NR	R	NR	NR	NR	R	R	R	R	R
Solvant Stoddard	NR	R	NR	NR	NR	R	R	R	R	R
Trichloréthylène	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	M	R
Perchloréthylène	NR	M	NR	NR	NR	R	NR	R	R	R
Dichlorométhane	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	M	NR
Méthanol	NR	NR	R	NR	NR	NR	R	R	R	R
Isopropanol	R	R	R	NR	M	NR	M	R	R	R
n-Butanol	R	R	R	NR	M	M	M	R	R	R
2-Butoxyéthanol	M	NR	R	M	NR	M	R	R	R	R
1-Méthoxy-2-propanol	R	M	R		M	NR	R	R		M
Acétone	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	R	R	NR
Méthyléthylcétone	NR	NR	R	NR	NR	M	NR	R	R	NR
Méthylisobutylcétone	NR	NR	R	NR	NR	R	NR	R	R	NR
Tétrahydrofurane	NR	NR	NR	NR	NR	M	NR	R	R	NR
1,4-Dioxane	NR	NR	R	NR	NR	NR	NR	R	R	NR
N-méthylpyrrolidone	NR	NR	R	M	NR	NR	R	R		NR
Diméthylformamide	NR	NR	R	NR	NR	NR	M	R	R	NR
Disulfure de carbone	NR	NR	NR	NR	NR	R	NR	R	M	R
Diméthylsulfoxyde	R	NR	R	NR	NR	NR	R	R	R	NR

R = Résistant, recommandé; NR = Non résistant, non recommandé; M = Résistance moyenne, utilisation limitée; PVA = Polyalcool vinylique; PVC = Polychlorure de vinyle; Gant laminé = 4H (MD) de Safety 4H; Barrier (MD) d'Ansell-Edmont; Silver-Shield (MD) de Siebe North Inc.

### Les paramètres de solubilité. Définition

Nous avons vu que la solubilité et le coefficient de diffusion sont les facteurs les plus importants déterminant la résistance des matériaux protecteurs aux solvants. La solubilité représente l'affinité d'un solvant pour un matériau et elle est liée à l'énergie d'interaction entre le polymère et le solvant. Plus l'énergie d'interaction entre le solvant et le polymère est élevée, plus la solubilité sera grande et moins résistant sera le matériau au solvant.

Hildebrand [29] a défini en 1949, un paramètre de solubilité  $\delta$  pour les liquides qui est relié à l'énergie de vaporisation et au volume du liquide :

$$\delta = \left( \frac{\Delta E}{V} \right)^{1/2} \quad (1)$$

où  $\Delta E$  est l'énergie de vaporisation et  $V$  le volume molaire du liquide. Le rapport  $\Delta E/V$  représente l'énergie de cohésion des molécules. Deux liquides seront miscibles si leurs  $\delta$  sont semblables. Hansen [30] a appliqué ce concept à la solubilité d'un liquide dans un polymère et a considéré que le paramètre  $\delta$  était la résultante de la contribution de trois types d'interactions, à savoir :

$$\delta_t = (\delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2)^{1/2} \quad (2)$$

où  $\delta_t$  est le paramètre de solubilité total résultant de la contribution de chacun des paramètres de solubilité :

$$\text{Paramètre de solubilité dû aux forces de dispersion : } \delta_d = \left( \frac{\Delta E_d}{V} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$\text{Paramètre de solubilité dû aux forces polaires : } \delta_p = \left( \frac{\Delta E_p}{V} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Paramètre de solubilité dû à la contribution de liens hydrogène :

$$\delta_h = \left( \frac{\Delta E_h}{V} \right)^{1/2} \quad (5)$$

### La résistance des matériaux aux produits chimiques et les paramètres de solubilité

Le niveau de résistance d'un matériau de protection à un agresseur chimique est relié à la différence des paramètres de solubilité entre le produit et le matériau. Pour quantifier le niveau de dissimilarité entre un polymère et un solvant, Hansen [30] a proposé l'équation suivante :

$$A = [4(\delta_d^p - \delta_d^s)^2 + (\delta_p^p - \delta_p^s)^2 + (\delta_h^p - \delta_h^s)^2]^{1/2} \quad (6)$$

Dans cette équation,  $A$  représente le facteur de dissimilarité entre le solvant et le polymère et les indices  $P$  et  $S$  correspondent au polymère et au solvant. Plus la valeur de  $A$  est petite, plus la résistance du polymère au solvant est diminuée. En d'autres mots, plus le polymère et le solvant se ressemblent, moins le matériau est résistant.

Les paramètres de solubilité tridimensionnels de Hansen pour les matériaux de protection peuvent être déterminés expérimentalement par différentes techniques (comme par exemple, le gonflement ou le changement de poids des matériaux) en utilisant des solvants dont les paramètres de solubilité sont connus [28]. Cette approche, qui peut être étendue aux mélanges, est très intéressante pour sélectionner les meilleurs matériaux de protection pourvu que les paramètres de solubilité soient connus.

Il existe de l'information sur les paramètres de solubilité pour environ 700 solvants [28]. On retrouve aussi de l'information sur les paramètres des

polymères utilisés dans la fabrication des gants de protection [28, 31]. L'exemple qui suit (tableaux 7.5 et 7.6) montre la corrélation entre le paramètre A calculé avec l'équation 9 et le temps de claquage mesuré par la méthode de perméation ASTM F379.

**Tableau 7.5 – Paramètres de solubilité tridimensionnels de Hansen pour quelques solvants et le caoutchouc nitrile (source Réf 31)**

Solvant/ Matériau	Paramètres de solubilité de Hansen		
	$\delta_D$ (Mpa <sup>1/2</sup> )	$\delta_P$ (Mpa <sup>1/2</sup> )	$\delta_H$ (Mpa <sup>1/2</sup> )
n-Hexane	14,9	0,0	0,0
Diéthylamine	14,9	2,3	6,1
Tétrahydrofurane	16,8	5,7	8,0
Chlorure de méthylène	18,2	6,3	6,1
Caoutchouc nitrile	17,7	7,5	6,7

**Tableau 7.6 – Comparaison du paramètre A calculé avec l'équation 6 et le temps de claquage de certains solvants avec le Nitrile (source Réf 31)**

Solvant	Paramètre A	Temps de claquage (minutes)
n-Hexane	11,51	> 360
Diéthylamine	7,67	30
Tétrahydrofurane	2,86	8
Dichlorométhane	1,67	2

On peut conclure que le nitrile a une très bonne résistance au n-hexane, une résistance moyenne à la diéthylamine et n'est pas recommandé pour se protéger contre le tétrahydrofurane et le dichlorométhane (chlorure de méthylène).

## ● Choix de la protection cutanée

Le choix de la protection cutanée doit être basé sur l'analyse du risque d'exposition aux solvants. Le choix doit être adapté à la tâche réalisée, au type de solvant auquel on est exposé et au niveau d'exposition. Il est aussi important de considérer si les opérations exigent l'utilisation de matériaux résistants aux risques mécaniques (coupures, piqûres, éraflures). Pour les matériaux listés au tableau 7.2, des gants peuvent aussi être fabriqués avec une doublure en textile (par exemple coton ou Kevlar) qui leur confère une meilleure résistance mécanique. Cependant, ces gants sont plus épais, plus rigides ce qui nuit pour des opérations demandant beaucoup de dextérité. Par contre, les gants doublés en coton offrent plus de confort, le coton permettant d'absorber la transpiration.

Parmi les facteurs les plus importants à considérer dans le choix d'un vêtement ou gant de protection l'on retrouve :

- 1 – La tâche à accomplir : les opérations exigent-elles l'utilisation de matériaux ayant de bonnes propriétés mécaniques (résistance à la coupure, piqûre et abrasion) ou résistants à la chaleur? Ceci peut influencer le choix d'un gant doublé, le type de doublure ou bien un gant non doublé.

- 2 – L'identification des solvants : propriétés irritantes ou allergisantes ou tout autre effet cutané ainsi que le potentiel de pénétration percutanée avec des effets à long terme.
- 3 – Besoins de dextérité et de sensibilité tactile. Ceci peut influencer le choix d'un gant mince.
- 4 – Type d'exposition (occasionnelle, risque d'éclaboussures, ou immersion continue dans des solvants). Le risque d'éclaboussure pourrait favoriser le choix d'un habit complet.
- 5 – Durée de l'exposition. Ceci peut influencer le choix de l'épaisseur du gant. Par exemple si la manipulation d'un solvant ne dure que quelques minutes, il n'est pas nécessaire de choisir un gant dont le temps de claquage est de plus de 8 heures.
- 6 – Existence d'informations sur la résistance des matériaux aux solvants identifiés.
- 7 – Solvant pur ou mélange. Dans le cas d'un mélange de solvants, le choix doit être déterminé par la résistance du matériau au solvant le plus agressif, même s'il se trouve en concentration très faible. Par exemple, dans le cas d'un mélange acétone-n-hexane, un gant en nitrile de 0,37 mm d'épaisseur résiste plus de 480 minutes au n-hexane pur alors qu'il ne résiste que 3 minutes à l'acétone pure. Le nitrile ne doit pas être choisi pour manipuler ce type de mélange. Le seul gant qui pourrait être utilisé dans ce cas est un gant laminé.
- 8 – Réutilisation. En général la décontamination des matériaux des gants suite à un contact avec des solvants toxiques n'est pas recommandée. La plupart des gants sont considérés à usage unique. Cependant, lorsqu'il s'agit d'un solvant volatil, non toxique, qui ne cause pas de dégradation au matériau, le recyclage pourrait être considéré. Aussi, pour des raisons économiques, des gants coûteux tels que ceux en Viton, pourraient être décontaminés suivant les recommandations du fabricant. C'est aussi le cas des habits de protection complets. Une inspection détaillée visant à détecter toute trace de dégradation du matériau et des tests de perméation sont recommandés.

Des détails sur le choix et des recommandations sur l'utilisation des gants de protection peuvent être trouvés dans des ouvrages de référence [32, 33]. Par ailleurs, le problème des dermatites de contact causées par l'utilisation de certains types de gants, notamment en latex, est traité par Mellstrom et coll. [32].

D'autres informations sont à considérer lors du choix d'une protection cutanée :

- *dégradation du matériau*. La première information qu'on doit considérer lors du choix d'une protection cutanée est la dégradation du matériau. La plupart des compagnies publient des chartes de dégradation pour un grand nombre de solvants. Ce type d'information donne un indice sur la résistance du matériau à un solvant donné, mais il ne donne pas d'information sur le niveau de résistance qui est obtenu avec un test de perméation;
- *pénétration du solvant*. La pénétration d'un solvant à travers un matériau de protection est le passage physique du solvant à travers les pores, les micro trous, les défauts du matériau, les coutures ou tout autre défaut du matériau. Il s'agit ici de l'intégrité du matériau et non pas de sa résistance. Un test de pénétration est souvent utilisé par les fabricants pour le contrôle qualité de leurs produits. Le test consiste à mesurer le passage de l'eau, d'un solvant ou de l'air pour détecter les imperfections du gant. Il existe des tests de pénétration normalisés par l'ASTM [34], par le Comité européen de normalisation (CEN) [35] et par ISO [36].

## ● Normalisation et réglementation

En Europe, il existe depuis 1993 deux directives (89-656 et 89-686) qui réglementent les équipements de protection individuelle (EPI) dans leur utilisation



(obligations de l'employeur) et dans leur conception (obligations du fabricant). Les niveaux de qualité et de sécurité des EPI doivent être certifiés conformes aux exigences essentielles de santé et de sécurité.

La directive 89-656 oblige l'employeur à mettre gratuitement à la disposition des employés les EPI appropriés, vérifier leur bon choix, veiller à leur utilisation, vérifier la conformité aux normes et informer les personnes chargées de la mise en œuvre ou de la maintenance des EPI. Il doit de plus, s'assurer du bon fonctionnement des EPI, informer les utilisateurs des risques contre lesquels les EPI les protègent et former les utilisateurs au port des EPI.

La directive 89-686 détermine les procédures de certification pour bénéficier de la libre circulation en Europe. Elle s'applique entre autres, aux vêtements et gants de protection. Elle fixe les règles de marquage CE selon trois catégories :

- *catégorie 1.* Pour les EPI protégeant les risques mineurs. Fait appel à une auto-certification où le fabricant déclare sous sa responsabilité que l'EPI est conforme aux exigences de la directive;
- *catégorie 2.* Pour la grande majorité des EPI. Le fabricant fera une demande d'examen CE à un laboratoire notifié par la Commission des Communautés européenne. Si les résultats sont positifs, le fabricant opposera le marquage CE ainsi que celui prévu dans la norme EN à laquelle il répond (marquage d'identification et niveau de performance);
- *catégorie 3.* Pour les EPI couvrant les risques graves. Devra faire l'objet d'un contrôle de fabrication par un organisme habilité et notifié par la Commission des Communautés Européennes. L'équipement certifié portera le sigle CE suivi du numéro du laboratoire ayant procédé à l'examen. Il sera obligatoirement accompagné d'information sur le nom et l'adresse du fabricant, les instructions de stockage, d'emploi, de nettoyage, d'entretien, de révision, les niveaux de performance, la date ou délai de péremption et la signification du marquage.

En plus des gants il existe en Europe un nombre important de normes qui s'appliquent aux vêtements de protection contre les solvants sous forme liquide, vapeur ou aérosol [37-51].

Aux États-Unis une information complète concernant la réglementation et les normes sur les vêtements de protection est accessible sur le site d'OSHA ([www.osha.gov](http://www.osha.gov)). La normalisation touchant les vêtements de protection contre les solvants est réalisée par des organismes tels que l'ASTM et le NFPA.

En plus des normes sur les tests de perméation [22, 52] et de pénétration [34], l'ASTM a développé la norme F 1383-99a concernant un test pour caractériser la résistance des matériaux en contact occasionnel avec des liquides ou des gaz [53] et la norme F 1301-90 qui traite du marquage des vêtements de protection [54]. De plus, le comité F 23 sur les vêtements de protection de l'ASTM a rédigé deux guides [55, 56]. Pour le NFPA citons les normes NFPA 1991 [57] et NFPA 1992 [58] pour des habits complets utilisés dans des interventions d'urgence. On retrouve également deux normes internationales (ISO), une pour caractériser la résistance des matériaux aux solvants par des mesures de perméation [59] et l'autre concernant la résistance à la pénétration des solvants [36].

Au Canada, l'information concernant la protection cutanée passe par le système SIMDUT (Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail) en vertu de la loi sur les produits dangereux ([www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/bsp/simdut.htm](http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/bsp/simdut.htm)).

## Bibliographie

1. Schwartz L., Tulipan L. — *A Textbook of Occupational Diseases of the Skin*. Lea & Fabiger, Philadelphie, 1939, 19-33.

2. Harzell M.B. — *Diseases of the skin*. Lippincott, Philadelphie, 1917, 1.
3. Archer C.B. — Functions of the skin. In : *Rook/Wilkinson/Ebling's Textbook of Dermatology*. Blackwell Science, Oxford, 1998, 113-122.
4. Anderse K.E. — Sytemic Toxicity from Percutaneous Absorption. In : Adams R.M., *Occupational Skin Disease*. Saunders, Philadelphie, 1999, 69-85.
5. Lauwerys R. — *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*. Masson, Paris, 4<sup>e</sup> édition, 1999.
6. Lachapelle J.M., Frimat P., Tennstedt D., Ducombs G. — *Dermatologie professionnelle et de l'environnement*. Masson, Paris, 1992.
7. Paustenbach D., Leung H.W., Rothrock J.A. — Health Risk Assessment. In : Adams R.M., *Occupational Skin Disease*. Saunders, Philadelphie, 1999, 291-323.
8. Fiserova-Bergerova V., Pierce J.T. — Biological monitoring V : Dermal Absorption. *Appl. Ind. Hyg.*, 1989, 4 (8), F14-F21.
9. Elsner P., Maibach H.I. — Irritant Dermatitis. Karger Verlag, Bâle, 1995, 1-8.
10. Elias P.M., Wood L.C., Feingold K.R. — Epidermal Pathogenesis of Inflammatory Dermatoses. *Am. J. Contact Dermatitis*, 1999, 10, 119-126.
11. Nickoloff B.J. — Immunologic Reactions Triggered During Irritant Contact Dermatitis. *Am. J. Contact Dermatitis*, 1998, 9, 107-110.
12. Maile T.K., Schalkwijk J., Van de Kerkhof P.C.M., Van Haelst U., Vander Valk P.G.M. — A histological and immunohistochemical study on chronic irritant contact dermatitis. *Am. J. Contact Dermatitis*, 1998, 9, 23-28.
13. Ghadially R. — Aging and the Epidermal Permeability Barrier : Implications for Contact Dermatitis. *Am. J. Contact Dermatitis*, 1998, 9, 162-169.
14. Hanifin J. — Atopy and Atopic Dermatitis. In : Adams R.M., *Occupational Skin Disease*. Saunders, Philadelphie, 1999, 209-220.
15. Engstrom K., Husman K., Riihimaki V. — Percutaneous Absorption of m-Xylene in man. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 1977, 38, 191-189.
16. Durocher L.P., Paquette N. — La dermite de contact irritative chez le travailleur. *Le Clinicien*, 1988, 3, 51-57.
17. Wahlberg J.E., Adams R.M. — Solvents. In : Adams R.M., *Occupational Skin Disease*. Saunders, Philadelphie, 1999, 484-500.
18. Rudzi E., Bevora N., Czernielewski A. et coll. — Contact allergy to oil of turpentine : a 10-year retrospective view. *Am. J. Contact Dermatitis*, 1991, 24, 317-318.
19. Boman A.S. — Irritants - Organic Solvents. In : Van Der Val P.G.M., Maibach H.I., *The Irritant Contact Dermatitis Syndrome*. CRC Press, Boca Raton, 1996, 95-104.
20. McLelland J., Shuster S., Matthews J.N.S. — Irritants increase the response to an allergen in allergic contact dermatitis. *Arch. Dermatol.*, 1991, 127, 1016-1019.
21. Forsberg K., Keith L.H. — Instant Gloves + CPC Database, version 2.0. Instant Reference Sources Inc, Georgie, 1999 (<http://www.instantref.com/pubs.htm>).
22. ASTM. — Standard Test Method for Resistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Liquid or Gases under Conditions of Continuous Contact, F 739-6. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, 1999.
23. Lara J., Roberge B., Velasquez A., Nelisse H. — *Chemical Permeation Test of Commercially Available Gloves Using the ASTM F 1001 Standard*. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail, Rapport R-050, Montréal, 1991.
24. Lara J., de Merchant J., Ketelson H. — A comparative study of permeation tests : a cup test method vs the ASTM method, F-739. In : *Performance of protective clothing*. Fourth volume, ASTM STP 1133, James P. McBriarty, Norman W. Henry Eds. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1992, 363-381.
25. EN 374-3. — Gants de protection - Résistance à la perméation.
26. Forsberg K., Mansdorf S.Z. — *Quick Selection Guide to Chemical Protective Clothing*. 3<sup>e</sup> édition, John Wiley & Sons, New York, 1997.
27. Forsberg K., Keith L.H. — *Chemical Protective Clothing Performance Index*. 2<sup>e</sup> édition, John Wiley & Sons, New York, 1999.

28. Hansen C.M. — *Hansen Solubility Parameters : A User's Handbook*. CRC Press, Boca Raton, 2000.
29. Hildebrand J.H., Scott R.L. — *The Solubility of Non-Electrolytes*. 3<sup>e</sup> édition., Reinhold, New York, 1949.
30. Hansen C.M. — The Universality of the Solubility Parameter. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 1968, 8, 2-11.
31. Perron G., Desnoyers J.E., Lara J. — *Résistance des vêtements de protection aux mélanges de solvants industriels. Développement d'un outil de sélection*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, 2002.
32. Mellstrom G.A., Wahlberg J.E., Maibach H.I. éd. — *Protective Gloves for Occupational Use*. CRC Press, Boca Raton, 1994.
33. Johnson J.S., Anderson K.J. Eds. — *Chemical Protective Clothing*. Vols. 1 et 2, AIHA Protective Clothing and Equipment Committee. AIHA Press, Fairfax, 1990.
34. ASTM. — Standard Test Method for Resistance of Protective Clothing Materials to Penetration by Liquids Chemicals. ASTM F 903. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
35. EN 374-2. — Gants de protection – Résistance à la pénétration.
36. Vêtements de protection – Protection contre les produits chimiques liquides – Détermination de la résistance des matériaux à la pénétration des liquides, ISO/CD 6530. Organisation internationale de normalisation, Suisse, 1998 ([www.iso.ch/iso/fr](http://www.iso.ch/iso/fr)).
37. EN 368. — Vêtements de protection utilisés contre les produits chimiques liquides – Résistance des matériaux à la pénétration des liquides.
38. EN 369. — Vêtements de protection chimique – Protection contre les produits chimiques liquides – Méthode d'essai : Résistance des matériaux à la perméation par les liquides.
39. EN 463. — Vêtements de protection chimique – Protection contre les produits chimiques liquides – Méthode d'essai : Détermination de la résistance à la pénétration par les liquides (essai de jet).
40. EN 464. — Vêtements de protection chimique - Protection utilisée contre les gaz et les vapeurs – Méthode d'essai : Détermination de l'étanchéité des fuites (essai de pression interne).
41. EN 465. — Vêtements de protection chimique - Protection contre les produits chimiques liquides – Exigences de performance – Équipement de type 4 – Combinaison de protection avec liaisons étanches aux pulvérisations entre les différentes parties de la combinaison de protection.
42. EN 466. — Vêtements de protection chimique - Protection contre les produits chimiques liquides (y compris les aérosols liquides) – Exigences de performance – Équipement de type 3 – Vêtements de protection avec liaisons étanches aux liquides entre les différentes parties du vêtement.
43. EN 467. — Vêtements de protection chimique – Protection contre les produits chimiques liquides – Exigences de performance – Équipement de type 5 – Articles d'habillement offrant une protection chimique à certaines parties du corps.
44. EN 468. — Vêtements de protection chimique – Protection contre les produits chimiques liquides – Méthode d'essai – Détermination de la résistance à la pénétration par un brouillard.
45. EN 943. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides et gazeux, y compris les aérosols liquides et les particules solides – Exigences de performance pour vêtements de protection non ventilés, avec liaisons étanches aux gaz (Équipement de type 1B).
46. EN 944. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides et gazeux, y compris les aérosols liquides et les particules solides – Exigences de performance pour vêtements de protection ventilés, avec liaisons étanches aux gaz (Équipement de type 1C).
47. EN 945. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides et gazeux, y compris les aérosols liquides et les particules solides – Exigences de performance pour vêtements de protection ventilés, avec liaisons étanches aux gaz (Équipement de type 2).
48. EN 946. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides et gazeux, y compris les aérosols liquides et les particules solides – Exigences de performance pour vêtements de protection enveloppants, non ventilés, avec liaisons étanches aux gaz (Équipement de type 1A).

49. EN 1511. — Vêtements de protection – Protection contre les produits chimiques liquides – Exigences de performance des vêtements de protection chimique à usage limité avec liaisons étanches aux liquides entre les différentes parties du vêtement (Équipement de type 3 à usage limité).
50. EN 1512. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides – Exigences de performance des vêtements de protection chimique à usage limité avec liaisons étanches aux brouillards entre les différentes parties du vêtement (Équipement de type 4 à usage limité).
51. EN 1513. — Vêtements de protection contre les produits chimiques liquides – Exigences des articles d'habillement à usage limité offrant une protection à certaines parties du corps (Équipements de protection partielle à usage limité).
52. ASTM F 1407-99a. — Standard Test Method for Resistance of Chemical Protective Clothing Materials to Liquid Permeation – Permeation Cup Method. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
53. ASTM F 1383-99a. — Standard Test Method for Resistance of Protective Clothing Materials to Permeation by Liquids or Gases Under Conditions of Intermittent Contact. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
54. ASTM F 1301-90(2001). — Standard Practice for Labeling Chemical Protective Clothing. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
55. ASTM F 1194-99. — Standard Guide for Documenting the Results of Chemical Permeation Testing of Materials Used in Protective Clothing. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
56. ASTM F 1001-99a. — Standard Guide for Selection of Chemicals to Evaluate Protective Clothing Materials. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
57. NFPA 1991. — Standard on Vapor - Protective Ensembles for Hazardous Materials Emergencies. National Fire Protection Association, Quincy.
58. NFPA 1992. — Standard on Liquid Splash - Protective Clothing for Hazardous Materials Emergencies. National Fire Protection Association, Quincy.
59. ISO 6529 : 2001. — Protective clothing – Protection against chemicals – Determination of resistance of protective clothing materials to permeation by liquids and gases. Organisation internationale de normalisation, Suisse.