

→ C. Brugnot, C. Beauté,  
H. Hasni-Pichard, F. Lauzier, service  
Prévention - CRAM Ile-de-France

# Application de résines en espaces confinés dans l'activité BTP

## Mise en évidence des expositions et propositions de moyens de prévention

**RESINS APPLICATION, IN ENCLOSED SITE, FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY**  
DETERMINATION OF CHEMICAL EXPOSURES AND PROPOSITIONS OF PREVENTIVE MEASURES

To come up to stronger and stronger technical and esthetic requirements, the synthetic resins used for the surface coatings (floors, containers, tanks, pipes...) contain more and more various chemical substances. But the identification of the risks generated by the handling and the use of these resins, in enclosed spaces, in the construction activity, shows a worrying situation, confirmed by the results of atmosphere controls and biological evaluations realised on 9 building sites in Ile-de-France. To reduce these risks, working with all the implicated professionals (formulators, material constructors and applicators) seems to be an efficient method. This study has essentially contributed to point out the problems. It must be continued by a long term work, realised by pluridisciplinary teams.

● synthetic resin ● application  
● confined space ● hazard  
● metrology ● prevention measure

Pour répondre à des exigences techniques et esthétiques de plus en plus pointues, les résines synthétiques utilisées dans les revêtements de surface (sols, réservoirs, cuves, tuyauteries...) contiennent des substances chimiques de plus en plus nombreuses et variées. Mais le recensement des risques posés par la manipulation et la mise en œuvre de ces résines, en milieux confinés, sur les chantiers de BTP, met en évidence une situation pré-occupante, confirmée par les résultats obtenus lors de contrôles d'ambiance et d'évaluations biologiques, réalisés sur 9 chantiers en Île-de-France.

Pour réduire ces risques, travailler avec tous les professionnels impliqués (formulateurs, fabricants de matériels et applicateurs) paraît être une méthode efficace. Cette étude a surtout servi à mettre en évidence les problèmes qui se posent et nécessite d'être poursuivie sur un long terme par des équipes pluridisciplinaires.

● résine synthétique ● application ● espace confiné ● risque ● métrologie  
● mesure de prévention

Les exigences des maîtres d'ouvrage en matière de revêtements de surfaces (sols, réservoirs, cuves, tuyauteries...) deviennent de plus en plus pointues, tant d'un point de vue technique que d'un point de vue esthétique. Les résines synthétiques, qui sont fréquemment utilisées pour ce type de réalisations, doivent pouvoir répondre à des qualités diverses : résistances mécanique et chimique, résistance aux chocs, élasticité, rapidité de mise en œuvre et de séchage...

Qu'ils soient choisis pour assurer une fonction d'étanchéité, anti-corrosive, anti-dérapante ou tout simplement protectrice du matériau recouvert (béton, métal), les revêtements mis en œuvre sont très souvent formulés sur la base de résines contenant des substances chimiques de plus en plus nombreuses et variées.

Mais qu'en est-il des risques encourus par les salariés qui manipulent ces produits sur les chantiers, plus particulièrement dans des milieux confinés ?

Le travail présenté commence par une étude technique, destinée à inventorier les grandes familles de résines utilisées sur les chantiers, ainsi que les méthodes d'application. Puis, les risques générés par ce type d'activité sont recensés, le risque chimique étant plus particulièrement traité. Une phase d'évaluations des expositions sur les chantiers confinés permet ensuite de mettre en évidence les problèmes réels rencontrés. Enfin, les mesures de prévention sont abordées, suivies de la description de la méthodologie utilisée pour traiter ce volet (voies à exploiter, acteurs potentiels...).

# 1. Les résines : caractéristiques et application

## 1.1. Les différents types

La gamme de matières premières et de produits qu'offre l'industrie chimique, pour répondre à des exigences techniques (et économiques) de plus en plus sévères, est très vaste. Néanmoins, nous avons retenu 5 grands types de résines (appartenant majoritairement à la famille des résines thermodurcissables) [1] :

- les résines époxydiques,
- les résines polyuréthannes,
- les résines poly(méth)acryliques,
- les résines polyester,
- les résines acryliques et vinyliques (en émulsion).

### 1.1.1. Les résines époxydiques

Pour les applications considérées, ces résines sont toujours livrées en 2 composants à mélanger dans des proportions précises pour obtenir la réaction de réticulation : la résine de base et le durcisseur.

La **base** est généralement obtenue par réaction de l'épichlorhydrine avec un phénol (bisphénol A et/ou F le plus souvent) [2].

Les **durcisseurs** utilisés peuvent être de différents types [3] :

- les amines aliphatiques (et cycloaliphatiques),
- les amines aromatiques,
- les polyamino-amides.

D'autres produits auxiliaires peuvent être utilisés dans ces résines, leur conférant des propriétés particulières. Ce sont principalement des :

- **plastifiants** (phtalates, alcool benzylique...), qui vont donner plus de souplesse ;
- **pigments**, pour la coloration ;
- **charges** (quartz surtout, brai de houille, oxydes de fer...) pour :

- donner une qualité antidérapante,
- résister aux contraintes mécaniques élevées (bétons époxy),
- baisser le prix de revient ;

- **solvants** (cétones, alcools, hydrocarbures aromatiques, dichlorométhane...) ;
- **diluants réactifs** (éthers phényl et butylglycidyliques, éther allylglycidyliques...) ;
- **accélérateurs** (phénol, aminophénols...) pour modifier les temps de prise et de polymérisation.

Les principaux avantages des résines époxydiques sont [1,3] :

- un pouvoir adhérent excellent sur de très nombreux supports ;

- une bonne résistance mécanique et chimique (revêtements anticorrosion dans les industries) ;
- une très bonne imperméabilité et une grande stabilité après polymérisation (contact possible avec denrées alimentaires, revêtements étanches à l'intérieur des châteaux d'eau...).

Par contre, ces résines jaunissent dans le temps, lorsqu'elles sont exposées aux intempéries et aux UV ; elles présentent également une faible souplesse et doivent être mises en œuvre à une température supérieure ou égale à 10 °C (au-dessous, leur réactivité diminue et leur viscosité augmente).

Toutefois, nous pouvons dire que ces résines sont très utilisées (résines « passe-partout ») pour de nombreux types de revêtements.

### 1.1.2. Les résines polyuréthannes (PUR)

Ces résines résultent de l'addition de polyisocyanates sur des polyols ou des polyamines. Le terme « polyisocyanates » comprend les isocyanates de base, mais également des composés à terminaison isocyanate, comme les prépolymères obtenus par réaction des isocyanates avec tout ou partie des polyols entrant dans la composition finale. Ces composés à terminaison isocyanate renferment une quantité résiduelle variable de l'isocyanate monomère d'origine.

Les isocyanates principalement utilisés comme matières premières sont [4 à 7] :

- le 4,4'-diisocyanate de diphenylméthane (MDI),
- le 1,6-diisocyanate d'hexaméthylène (HDI),
- le diisocyanate d'isophorone (IPDI),
- le diisocyanate de toluylène (TDI).

Ces résines peuvent être mono- ou bicomposantes, avec ou sans solvant.

Les résines à un composant se présentent sous la forme de prépolymères à terminaisons isocyanates (généralement en solution), qui réticulent sous l'action de l'humidité atmosphérique [8].

Les systèmes à 2 composants sont constitués d'une solution de polyol et d'une solution de prépolymère à terminaison isocyanate (durcisseur), qui doivent être mélangées en proportions déterminées au moment de l'application [8].

Comme pour les résines époxydiques, d'autres matières peuvent être ajoutées à la résine PUR : il s'agit de catalyseurs, de solvants, de charges ou de pigments.

Les systèmes polyuréthannes connais-

sent un fort développement depuis quelques années. Leurs principaux avantages sont [1,9] :

- de bonnes caractéristiques mécaniques et une bonne tenue chimique ;
- leur imperméabilité ou étanchéité,
- la possibilité de faire varier le module d'élasticité ;
- une réactivité modulable de quelques secondes à plusieurs heures ;
- pas de jaunissement aux UV (si isocyanates aliphatiques à la base) ;
- une réactivité plus rapide que celle des époxy à basse température (5 °C).

Par contre, leur durcissement en milieu humide (air ambiant et support béton) est parfois délicat.

Les polyuréthannes se retrouvent dans la composition de peintures, d'enduits, d'autolissants, de mortiers souples ou rigides. Leur souplesse, leur capacité à amortir les chocs et leur confort acoustique favorisent leur choix pour la plupart des revêtements sportifs, ainsi que pour les aires de jeux.

### 1.1.3. Les résines poly(méth)acryliques

Ces résines, constituées de mélange de polymères et de monomères (acryliques ou méthacryliques) sont durcies en place par polymérisation radicalaire, amorcée au moyen de peroxydes organiques, très souvent ajoutés en faible quantité.

Des solvants peuvent être utilisés pour la préparation des peintures, vernis et revêtements.

Ces résines sont appréciées pour leur rapidité de prise (même à des températures inférieures à 10 °C), leur forte adhérence, leur résistance mécanique élevée. Par contre, leurs inconvénients sont nombreux :

- résistance aux agressions chimiques moyenne,
- forte rigidité,
- retrait important (5 fois supérieur à celui des époxy),
- odeur forte et persistante des monomères,
- risques dus à l'utilisation de peroxydes.

Elles sont utilisées dans certains vernis, autolissants et mortiers, et plus généralement pour effectuer des réparations de sols en béton.

### 1.1.4. Les résines polyesters

Les polyesters réticulés sont obtenus à partir de polyesters insaturés et d'un solvant monomère. Les polyesters insaturés résultent de la polycondensation d'un

diacide insaturé sur un diol ou un polyol (éthylène glycol, par exemple), sous forme liquide. On obtient une résine « masse » après élimination de l'eau formée. Ce polyester insaturé est ensuite mis en solution dans un solvant monomère, le styrène généralement.

La réticulation s'effectue après addition des adjuvants de durcissement (à chaud ou à température ambiante) :

- catalyseurs : peroxydes organiques ajoutés, à raison de 0,5 à 3 % ;
- accélérateurs : ce sont des initiateurs de décomposition des peroxydes (sels métalliques, amines tertiaires...)
- charges : poudres minérales (silice...) ou charges fibreuses (verre). L'adjonction de fibres de verre (les plus utilisées) donne les polyesters renforcés, ou stratifiés (par empilement de couches enrobées de résine) ;
- pigments ;
- solvants.

Les performances des résines polyesters sont directement liées à la nature du polycondensat insaturé (polyester, vinyless-ter...) et au taux de styrène monomère.

Ces résines offrent une très bonne résistance chimique (surtout en milieu acide), de bonnes résistances mécaniques et une mise en service rapide. Par contre, leur rigidité est très forte, et l'odeur persistante de monomère très désagréable. En revêtement de sols, elles sont essentiellement

utilisées pour leur performance anticorrosion élevée.

### 1.1.5. Les résines acryliques et vinyliques (en émulsion)

Ces résines sont à base de copolymères. Elles sont toujours monocomposantes. Leur séchage se fait par évaporation de l'eau et des cosolvants.

Les peintures et vernis sont préparés à partir d'émulsions de résines dans l'eau, dans lesquelles on ajoute des charges (silice...), des plastifiants (phtalates), des pigments, des solvants.

Leur faible résistance chimique et leur résistance limitée au trafic intense font qu'elles sont peu utilisées en milieu industriel, mais plutôt pour les revêtements de zones piétonnières ou certains aménagements urbains.

## 1.2. Les procédés d'application des résines

Deux modes principaux d'application servent à la mise en œuvre des résines, qu'il s'agisse de revêtements de sols ou de revêtements de cuves ou tuyauteries : l'application manuelle et la projection automatique.

### 1.2.1. L'application manuelle

Cette technique est largement utilisée pour le revêtement de sols. Les salariés

étendent les produits à l'aide d'instruments très simples, tels que truelle, raclette cran-tée, plateau, rouleau, rouleau débulleur, pinceau. Ils travaillent en général à genoux, sauf lorsqu'ils peuvent se servir d'un rouleau monté sur manche.

L'utilisation de la taloche est souvent préférée à celle du rouleau (sauf pour les couches les plus minces) car elle permet, selon les professionnels, d'avoir un meilleur contact avec le produit, et donc de mieux affiner l'application (elle permet aussi de mieux « tirer » la résine, ce qui en diminue la consommation et représente un intérêt économique pour l'entreprise).

### 1.2.2. La projection automatique

Les équipements d'application sont souvent composés de :

- une alimentation produit (godet, réservoir ou pompe),
- une tuyauterie de liaison,
- un pistolet de pulvérisation.

Les peintures bicomposantes se pulvérisent généralement de la même manière que les peintures monocomposantes, mais le mélange est fait, soit par un salarié préparateur dans le bac d'alimentation produit, soit automatiquement au niveau de la pompe.

### La pulvérisation

Les principales caractéristiques des techniques de pulvérisation [10, 11] sont récapitulées dans le [tableau I](#).

TABLEAU I

## CARACTÉRISTIQUES DES TECHNIQUES DE PULVÉRISATION

### CHARACTERISTICS OF SPRAYING TECHNIQUES

	PULVÉRISATION PNEUMATIQUE		PULVÉRISATION AIRMIX®	PULVÉRISATION AIRLESS®
	BASSE PRESSION	CONVENTIONNELLE		
<b>PRINCIPE</b>	pulvérisation obtenue par mélange air et produit en sortie de pistolet - pression de l'air comprimé : 0,7 bar maximum	pulvérisation obtenue par mélange air et produit en sortie de pistolet - pression de l'air comprimé : 3 à 6 bars	pulvérisation mixte, obtenue par effet mécanique à travers une buse alimentée en produit sous moyenne pression (30 à 120 bars), et ajout d'air (sous très faible pression)	pulvérisation sans air, obtenue par effet mécanique à travers une buse alimentée en produit sous haute pression (100 à 400 bars)
<b>AVANTAGES</b>	- simplicité - facilité de réglage - brouillard réduit (volume divisé par 4 par rapport à la pulvérisation conventionnelle) - qualité de finition excellente	- simplicité - facilité de réglage	- brouillard réduit de 80 % par rapport à la pulvérisation pneumatique conventionnelle (selon fiches techniques, mais donnée non vérifiée expérimentalement, à ce jour, sur les chantiers) - couche épaisse - viscosité et débit importants - excellente finition	- couche très épaisse - forte viscosité - débit très important
<b>INCONVÉNIENTS</b>	- viscosité du produit modérée - débit modéré - présence indispensable d'un compresseur sur le chantier - distance faible entre opérateur et zone à traiter	- brouillard important - perte de produit importante - viscosité et débit modérés - présence indispensable d'un compresseur sur le chantier	- présence indispensable d'un compresseur sur le chantier	- finition délicate difficile - couche mince impossible

Fig. 1. Application d'un primaire d'accrochage - *Application of an adhesive primer*



Sur les chantiers, le procédé le plus souvent rencontré est la pulvérisation Airless®. Le matériel est robuste, très simple d'utilisation (pas ou peu de réglages), facile à transporter ; il permet de travailler à des débits très importants, même sur des produits très visqueux, ce qui constitue un gain de productivité intéressant pour les entreprises.

#### Les pompes bi-composants

Ce type de matériel assure le dosage volumique précis de chacun des constituants (suivant le rapport préconisé par le formulateur).

En fonction du modèle choisi, on peut avoir un mélange au niveau de la pompe ou un mélange déporté au niveau du pistolet. Dans ce dernier cas, deux options se présentent là encore :

■ Mélangement externe : les deux composants sont véhiculés et pulvérisés séparément, de façon à ce qu'ils se croisent à l'extérieur. Le mélange réalisé n'est pas

toujours très homogène, et une fraction des composants purs peut se retrouver dans l'atmosphère (risques en fonction de la toxicité des produits utilisés) ;

■ Mélangement interne : les deux composants arrivent séparément dans un mélangeur statique positionné juste avant la buse. Le mélangeur est nettoyé en fin d'opération seulement (quelques grammes de solvant suffisent).

A ce jour, les pompes bi-composants sont essentiellement utilisées dans les industries (automobile, navale, aéronautique, plastiques...), mais pas dans le BTP. Leur conception actuelle reste encore peu adaptée aux chantiers : machines lourdes, encombrantes, d'utilisation relativement pointue (réglages en fonction des produits), de coût élevé. Leur utilisation permettrait pourtant d'éviter, ou de diminuer la fréquence de certaines phases dangereuses : préparation et mélange des composants exposant de façon importante le

salarié à la toxicité de substances, nettoyage des tuyauteries nécessitant des quantités élevées de solvants.

#### 1.2.3. Les modes opératoires

La mise en œuvre d'un revêtement comporte en général plusieurs phases.

**1. La préparation de la surface** : suivant la nature et l'état du support, elle peut se faire par grenailage, ponçage, sablage, jet haute pression, décapage chimique ou shampooing acide. Il s'agit de débarrasser la surface de toute trace d'éléments (huiles, graisses, résidus d'anciens revêtements..) qui gêneraient l'adhérence.

**2. L'application d'un primaire d'accrochage (résine souvent solvantée)** : il assure la stabilité du support ; il en bouche les pores et permet d'éviter le bullage lors de l'application de la couche principale (cf. fig. 1).

**3. L'application du revêtement** (cf. fig. 2).

Fig. 2. Application du revêtement - Application of the coating



#### 4. L'application éventuelle d'une couche de finition (peinture, vernis...).

Plusieurs couches peuvent être nécessaires pour réaliser le revêtement, avec différentes options suivant le résultat recherché : projection de silice (pour créer une rugosité nécessaire à l'accrochage de la couche de finition), incorporation de granulats de caoutchouc (pour sols souples)...

Des opérations intermédiaires de débullage (avec rouleau débulleur) sont souvent nécessaires pour évacuer les bulles d'air, emprisonnées sous la couche qui vient d'être appliquée, qui conduiraient à la formation de « cloques » lors du séchage.

Différents types de résines peuvent être superposés : époxydique en sous-couche (pour meilleure adhérence) et polyuréthane en surface pour une finition plus esthétique.

Pour renforcer la résistance mécanique, on peut réaliser une stratification : cette opération consiste à incorporer, entre 2 couches de résine, des fibres de verre sous forme d'un mat (sorte de tissu, le plus souvent rencontré) ou de morceaux découpés et projetés sur la surface par un pistolet (figs. 3 à 6).

Notons enfin que, pour les réalisations d'étanchéité, un contrôle minutieux de la surface est réalisé à l'aide d'un peigne électrique ; il s'agit de détecter toute anomalie de porosité, qui correspond à un site d'attaque possible du revêtement. Toutes les malfaçons doivent être reprises, jusqu'à obtenir un contrôle parfait.

## 2. Les risques générés

Les différents types de risques auxquels sont exposés les applicateurs de résines sont présentés, et tout particulièrement le risque chimique. Les autres risques ne seront qu'évoqués ou cités, n'ayant pas été étudiés précisément.



Fig. 3.



Fig. 4.

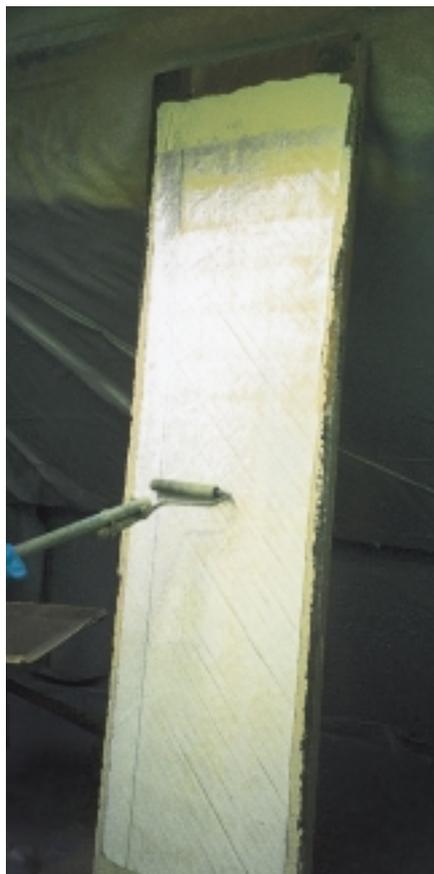


Fig. 5.



Fig. 6.

## 2.1. Le risque chimique

### 2.1.1. Identification des dangers

Les principales caractéristiques des substances utilisées pour la fabrication des résines ont été répertoriées, permettant d'en déterminer les dangers (voies de contact et/ou de pénétration, atteintes/pathologies, tableaux de maladies professionnelles correspondants, incendie-explosion).

Les données sont rassemblées dans le [tableau II \(page suivante\)](#).

En complément à ces informations, quelques commentaires, propres à certaines substances présentant des dangers plus marqués peuvent être faits.

#### La MDA (4,4'-méthylènedianiline, ou 4,4'-diaminodiphénylméthane)

Cette amine est utilisée comme durcisseur dans certaines résines époxydiques requérant une qualité alimentaire (revêtement pour réservoirs d'eau potable, châteaux d'eau...). La MDA est classée en catégorie 2 de la classification européenne des cancérogènes (substance devant être assimilée à une substance cancérogène pour l'homme). Sa très faible tension de vapeur et sa liposolubilité font que la voie de pénétration privilégiée de la MDA est la voie cutanée [16]. L'évaluation du risque doit être faite dans ce cas par le dosage de la MDA dans les urines [17].

L'évaluation de l'exposition professionnelle à cette amine en France a fait l'objet d'une étude menée par l'INRS [18].

Il a été montré, par exemple, que les phases de préparations des charges et de nettoyage sont tout particulièrement propices aux contaminations.

Suite à cette étude, l'INRS a proposé d'abaisser la valeur d'indicateur biologique d'exposition (IBE) à 50 µg/l de MDA urinaire, au lieu des 100 µg/l jusqu'alors utilisés par les grands groupes industriels concernés. Précisons que cette valeur n'est qu'une recommandation technique.

#### Les isocyanates

Parce que sa volatilité est la plus élevée, le diisocyanate de toluylène (TDI) est la molécule la plus dangereuse de la gamme des diisocyanates mentionnés au § 1.1.2. Cette substance peut donc se retrouver dans l'atmosphère, même lors d'une application au rouleau.

Le diisocyanate de diphenylméthane (MDI), très fréquemment rencontré dans la formulation des résines PUR, présente

une tension de vapeur très faible par rapport aux trois autres isocyanates. Les risques de sensibilisation, après inhalation, devraient donc être moins importants, puisque la molécule est très faiblement volatile.

Le service toxicocinétique de l'INRS a ouvert une étude sur le risque MDI, dans le but, d'une part, de mettre au point et valider une méthode d'évaluation de l'imprégnation des salariés par dosages urinaires, et d'autre part, de tenter de mieux déterminer les voies de pénétration de la substance [30].

Lorsqu'elle a pénétré dans l'organisme, la molécule de MDI se métabolise très rapidement en MDA (substance assimilée à une substance cancérogène). Or, les taux élevés de MDA détectés dans les urines des ouvriers sélectionnés pour l'étude ne peuvent être justifiés par les concentrations en MDI (faibles ou non détectables) mesurées dans l'atmosphère. Il s'agit alors de déterminer la part de la pénétration cutanée dans l'imprégnation des salariés, élément essentiel à connaître pour adapter les mesures de prévention.

Les caractéristiques des 4 principaux diisocyanates cités sont précisées en [annexe I](#).

#### Les poussières

Pour la préparation des surfaces, les phases de grenailage ou de ponçage sont très génératrices de poussières pouvant contenir de la silice libre. Les plus gros matériels utilisés (grenailleuse, ponceuse) sont généralement équipés de filtres (dont l'efficacité est à vérifier dans chacun des cas). Mais l'utilisation de la ponceuse à main pour les endroits moins accessibles (angles, bordures) expose directement l'utilisateur.

Quand des charges siliceuses sont ajoutées à la résine, l'opération se fait soit en versant directement le contenu des sacs dans la préparation à appliquer, soit en déposant le sable directement sur la surface enduite (à la main ou par projection). Là encore, les salariés sont exposés au danger.

#### Les solvants

Pour tous les types de résines, le risque incendie-explosion est dû essentiellement à l'utilisation des solvants. En effet, ils sont quasiment tous inflammables et, en général, très volatils. Leurs vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air. Il est donc utile de réaliser des contrôles d'atmosphère (le degré d'explosivité peut être mesuré par explosimètre).

Un tableau récapitulatif des propriétés physico-chimiques des solvants est proposé en [annexe II](#).

#### Les peroxydes

Utilisés dans les résines polyesters et poly(méth)acryliques, les peroxydes organiques sont également des facteurs très sérieux d'incendie et d'explosion. Ces composés ont la propriété particulière de se décomposer en dégageant une quantité de chaleur importante ; la décomposition s'accélère alors et peut conduire à l'explosion.

Cette décomposition peut démarrer sous l'effet d'un échauffement (même dû à un choc ou à un frottement), ou d'un contact avec certaines matières organiques ou certains composés minéraux (oxydes de fer, alumine...).

La manipulation des peroxydes doit donc se faire avec prudence, avec précision, et sur des quantités aussi faibles que possible. Il est recommandé de veiller à ce que le stockage soit réalisé dans les meilleures conditions (température contrôlée, isolement, petites quantités, absence de matières combustibles).

### 2.1.2. Estimation du risque sur les chantiers

Le risque apparaît comme une fonction du danger présenté par le produit lui-même, et de l'exposition du salarié à ce produit. L'estimation de ce risque ne peut se faire qu'à l'aide de différents paramètres.

#### Les caractéristiques du produit

Il faut d'abord connaître la composition et la quantité mise en œuvre du produit utilisé, déterminer les dangers générés par les substances qu'il contient (toxicité, volatilité, voies de pénétration, concentrations, risque incendie-explosion). La « fiche de données de sécurité » [34] du produit (que la société d'application doit absolument avoir en sa possession), ainsi que l'étiquetage des emballages, fournissent des premières informations essentielles. Les dangers ainsi mis en évidence orienteront le choix des mesures de prévention.

#### Les phases du travail

L'exposition du salarié au danger dépend étroitement de la tâche qu'il accomplit. Nous pouvons mettre en évidence trois postes de travail principaux pour lesquels le risque ne présente pas les mêmes caractéristiques :

TABLEAU II

## DANGERS PRÉSENTÉS PAR LES SUBSTANCES CONTENUES DANS LES RÉSINES

## HAZARDS OF THE SUBSTANCES CONTAINED IN THE RESINS

SUBSTANCES DANGEREUSES	RÉSINES CONCERNÉES (RÔLE DANS LA RÉSINE)	TOXICITÉ		INCENDIE EXPLOSION	TABLEAUX M.P. (*)
		VOIES DE CONTACT ET/OU DE PÉNÉTRATION	ATTEINTES/PATHOLOGIES		
RÉSINES ÉPOXYDIQUES	résines époxydiques (base)	- contact cutané	- eczémas - dermatites irritatives		51
AMINES ALIPHATIQUES	résines époxydiques (durcisseurs)	- contact cutané surtout - pénétration par inhalation (si tension de vapeur élevée)	- forts sensibilisants cutanés : eczémas - risques d'asthmes		49
AMINES AROMATIQUES	résines époxydiques (durcisseurs)	- contact cutané - pénétration par inhalation - pénétration par voie cutanée et/ou inhalation	- eczémas - dermatites irritatives - asthmes allergiques - lésions du foie, des reins - troubles neurologiques - cancers du foie ou de la vessie, pour certains - hépatotoxique - <b>cancérogène catégorie 2 (Classification européenne)</b> cancers de la thyroïde et du foie chez l'animal		15 15 bis 15 ter
<b>Cas particulier :</b> MDA (4,4'-méthylène-dianiline)		- voie cutanée surtout, et/ou inhalation			
ISOCYANATES	résines polyuréthannes (durcisseurs)	- contact cutané - pénétration par inhalation	- eczémas - atteintes de l'appareil respiratoire surtout (asthmes, bronchites asthmatiformes, insuffisance respiratoire chronique parfois) <i>Remarque :</i> <i>très fortement sensibilisants ; la sensibilisation une fois établie, des troubles réapparaissent après une nouvelle exposition, même à des concentrations très faibles</i>		62
CHARGES : Siliceuses	Résines époxydiques	- pénétration par inhalation	- silicoses		25 25 bis
Brai de houille	Résines polyuréthannes Résines époxydiques	- contact cutané	- lésions cutanées : (dermites irritatives, troubles pigmentaires, cancers cutanés parfois)		16 16 bis
Benzo[a]pyrène (composant du brai)		- pénétration par inhalation, et/ou voie cutanée	- cancers cutanés, pulmonaires, de la vessie et des reins <b>cancérogène cat. 2 mutagène cat. 2 toxique pour la reproduction cat. 2 (Classification européenne)</b>		
PHTALATES	résines époxydiques (plastifiants)	- contact cutané	- irritations		
SOLVANTS	toutes résines	- contact cutané - pénétration par inhalation  - pénétration par inhalation, et/ou voie cutanée	- dermatites irritatives, eczémas - irritations des voies respiratoires - état ébrioux (sommolence, fatigue, vertiges, nausées, pertes d'appétit)		4 bis 84
<b>Cas particuliers :</b> dichlorométhane		- pénétration par inhalation surtout (substance très volatile)	- tous symptômes des solvants - hépatites, troubles cardio-respiratoires	non	12
toluène, xylènes		- pénétration par inhalation, et/ou voie cutanée	- tous symptômes des solvants - troubles intestinaux	oui	4 bis
alcool benzylique	résines époxydiques (plastifiant)		- tous symptômes des solvants	très faible	84
styrène	résines polyesters (monomère)	- pénétration par inhalation, et/ou voie cutanée	- tous symptômes des solvants - action sur le système nerveux central (troubles de l'équilibre, dépressions)	oui	84
PHÉNOL	résines époxydiques (accélérateur)	- contact cutané - pénétration par inhalation - pénétration par voie cutanée, et/ou inhalation	- action caustique : brûlures - irritations respiratoires - maux de tête, étourdissements, troubles de la vision, de l'audition, de la respiration, pertes de conscience		
PEROXYDES ORGANIQUES	résines poly(méth)acryliques résines polyesters (catalyseurs)	- contact cutané - pénétration par inhalation (pour quelques peroxydes liquides)	- irritations - eczémas tenaces, parfois - irritations des voies respiratoires	oui	

*Remarque :* cf. références bibliographiques [3, 12 à 29, 31 à 33].

(\*) cf. Les Maladies professionnelles. Guide d'accès aux tableaux du régime général et du régime agricole. Paris, INRS, 2000, ED 835, 340 p.

#### ■ La préparation du produit.

Le salarié ouvre les emballages de produits, verse l'un des composants dans l'autre si nécessaire, mélange à l'aide d'un outil portatif ou d'une machine (bétonnière parfois), et alimente la pompe en cas d'application par projection. Il est donc essentiellement soumis aux contacts cutanés avec les produits, ainsi qu'aux vapeurs des substances à volatilité élevée.

#### ■ L'application de la résine. Deux cas sont à distinguer :

1 - la projection génère des quantités importantes d'aérosols ; la pénétration par inhalation apparaît donc comme la voie d'imprégnation prépondérante.

2 - en cas d'application manuelle (taloche, rouleau, truelle), le salarié sera soumis aux vapeurs des substances volatiles ; il le sera d'autant plus s'il travaille à genoux, le nez à 20 ou 30 cm au-dessus de la zone traitée, comme c'est souvent le cas pour les revêtements de sols. Mais les contacts cutanés sont également très importants ; lors d'une application sur un plafond par exemple, les salariés peuvent se contaminer par les égouttures qu'ils reçoivent sur le visage.

#### ■ Le nettoyage.

Cette phase s'effectue le plus souvent en utilisant des solvants, dont les vapeurs se dégagent facilement dans l'atmosphère. Mais ces solvants favorisent également la pénétration cutanée des autres substances. De plus, ils induisent un risque d'incendie-explosion, comme nous l'avons déjà indiqué (cf. dans § 2.1.1. « Les solvants »).

L'analyse du travail constitue donc un élément primordial pour l'estimation du risque ; l'étude de chaque phase est essentielle puisque nous avons constaté que certaines tâches, qu'on aurait pu croire inoffensives, se révèlent en fait exposantes.

#### La durée et la fréquence d'exposition

Les faibles concentrations de certaines substances dangereuses, relevées dans les formules de produits finis, peuvent servir d'arguments pour minimiser les risques. Mais, même si les dangers présentés par chacun des constituants sont réduits du fait de leurs faibles teneurs, la somme globale des expositions n'est sans doute pas sans conséquence. Il faut garder à l'esprit que certains salariés font de l'application tout au long de l'année (expositions répétées), et que les produits qu'ils utilisent sont variables d'un chantier à l'autre (éventail très large de substances).

### La configuration du chantier

Les caractéristiques du lieu d'intervention sont importantes à connaître. Suivant que l'application se fera dans une canalisation, une cuve de très grandes ou de faibles dimensions, des locaux à proximité de zones en activité ou pas, les mesures de prévention varieront.

#### 2.1.3. Conclusion

Les dangers toxicologiques et/ou d'incendie-explosion présentés par les substances entrant dans la composition des résines, ainsi que les facteurs d'estimation des risques générés sur un chantier d'application, ont été décrits. Soulignons que la voie de pénétration habituellement envisagée pour ces activités est l'inhalation (peut-être est-ce dû aux odeurs souvent présentes...). Mais la voie percutanée ne doit absolument pas être négligée puisqu'elle constitue, dans certains cas, le vecteur principal d'imprégnation. Cet aspect pose d'ailleurs un véritable problème sur les chantiers où les règles d'hygiène ne sont pas faciles à instituer.

Les phases d'évacuation des emballages vides sont également très préoccupantes. Les seaux, ou fûts, sont presque toujours remportés par les salariés dans les véhicules de chantier. Quand il n'existe pas de séparation étanche entre les sièges et l'arrière du véhicule, les vapeurs qui s'échappent des récipients peuvent tout à fait provoquer des effets toxiques sur les occupants, augmentant en plus les risques d'accidents de la route. Oserons-nous ajouter que ces véhicules servent très souvent de vestiaires, et parfois même de réfectoire !

Le risque incendie-explosion, quant à lui, est particulièrement ignoré sur les chantiers. Les applications de résines solvantées avec - et/ou à proximité - du matériel électrique sans protection adaptée, ne sont pas rares. Les besoins de ventilation liés à ce type d'interventions ne sont pas du tout pris en compte.

### 2.2. Les risques liés à l'activité physique

#### 2.2.1. Gestes et postures

Comme cela a déjà été mentionné, l'application manuelle nécessite souvent un travail à genoux et/ou dans des positions parfois très inconfortables (interventions dans tuyauteries par exemple) ; les salariés rencontrés se plaignent quasiment tous du dos. Les douleurs aux genoux, elles, sont parfois atténuées par le port de genouillères ; les applicateurs en ont sou-

vent à leur disposition, mais ne les portent pas toujours facilement, se plaignant du fait qu'elles leur serrent trop les jambes. Le modèle intégré aux vêtements (système Hygrovet®) n'a pas été rencontré ; les employeurs invoquent un coût difficile à supporter pour des combinaisons ou des pantalons qui ne durent pas très longtemps.

En cas d'application par projection, le salarié utilisant le pistolet doit limiter autant que possible les arrêts de pulvérisation (risque de réaction dans la tuyauterie, provoquant un bouchage). Il effectue donc des déplacements très rapides au milieu de la zone d'intervention qui est souvent encombrée (tuyauteries, échafaudages, éclairage), ce qui peut conduire à des chutes, des chocs, des lombagos...

#### 2.2.2. Manutentions

Les phases d'approvisionnement se font en général de la façon suivante :

- matériel et produits apportés avec le véhicule de chantier,
- déchargement à la main,
- acheminement vers la zone d'intervention par transpalette (dans le meilleur des cas) ou à la main.

Les produits sont fréquemment conditionnés en emballages de petite taille (seaux jusqu'à 15 kg), mais leur nombre est souvent élevé, ce qui multiplie les manutentions. Quant au matériel, il peut être très lourd (ponceuse, grenailleuse) et doit être déchargé par plusieurs salariés.

Notons que, pour les interventions dans les bâtiments neufs par exemple, les ascenseurs sont rarement mis à la disposition des applicateurs.

### 2.3. Les risques physiques

Le bruit est la nuisance physique essentielle dans certaines phases des chantiers. Il résulte du fonctionnement de certains appareils : grenailleuse, ponceuse, pompe Airless®...

Les salariés portent surtout des protections auditives pour les opérations de grenaillement ou ponçage.

L'éclairage peut être déficient, surtout pour les interventions dans les espaces clos (cuves, réservoirs), ou même dans certains sous-sols. Les projecteurs ou baladeuses alors utilisés ne présentent d'ailleurs pas toujours les indices de protection nécessaires pour les opérations en cours (risques de projection, incendie, explosion..).

Les contraintes thermiques peuvent être également préoccupantes.

## 2.4. Autres risques

D'autres risques peuvent, bien sûr, se présenter en fonction de la configuration des chantiers, mais ne seront pas décrits ici : risques électriques, chutes de hauteur, risques machines...

## 3. Évaluation et conséquences des expositions

Dans un premier temps, l'analyse des statistiques des maladies professionnelles reconnues et des données de la base EPICEA devrait permettre d'appréhender les atteintes à la santé, conséquentes à des applications (habituelles ou occasionnelles) de résines, effectivement recensées chez les salariés concernés.

Dans un deuxième temps, les campagnes de mesures effectuées sur les chantiers visités en Île-de-France contribueront à mettre en évidence le niveau réel d'exposition du personnel.

### 3.1. Étude des statistiques

#### 3.1.1. Les accidents du travail

Exemple :

2 juillet 1999 : Mr D. est retrouvé inanimé alors qu'il projetait une peinture anticorrosion (résine PUR sans solvant) à l'intérieur d'une cuve métallique de récupération des eaux pluviales. Il décède 5 jours après. Ses collègues, qui ont essayé de le secourir, reconnaissent qu'ils n'ont pas pu rester dans la cuve, étant excessivement incommodés (suffocations, vertiges, sensations d'évanouissement) par une odeur anormalement forte qui y régnait.

Et pourtant, ce salarié avait déjà appliqué cette résine, sur ce même type de cuve, une dizaine de fois depuis un an, dans des conditions qui, apparemment, étaient toujours les mêmes !

Bien que les causes de cet accident, survenu en Île-de-France, ne soient pas encore vraiment éclaircies à ce jour, il est difficile de penser que la résine mise en œuvre n'ait joué aucun rôle dans ce drame.

La consultation de la base de données EPICEA ne fournit quasiment rien pour le sujet qui nous intéresse (les cas d'intoxications lors d'utilisations de solvants purs ont été éliminés). Deux accidents seulement ont été relevés, pour lesquels des salariés ont été pris de vertiges, de malaises (l'un allant jusqu'au décès), alors qu'ils appliquaient une peinture dont les caractéristiques ne sont pas données. Dans les deux cas, les causes exactes de l'accident n'ont pas été clairement établies.

#### 3.1.2. Les maladies professionnelles

En ce qui concerne les maladies professionnelles, les statistiques ne donnent pas beaucoup d'informations. Il faut préciser qu'il est difficile de faire une recherche exhaustive en utilisant les codes risques concernés. En effet, si les sociétés spécialisées portent généralement les codes 452KA, 454FB, 454JB et 454JC, il est difficile d'appréhender les salariés travaillant dans des entreprises autrement répertoriées, et qui pourtant peuvent appliquer des résines épisodiquement. Les résultats obtenus sur les 3 années (1996 à 1998), pour la région Île-de-France, sont rassemblés dans le [tableau III](#).

TABLEAU III

### STATISTIQUES DES MALADIES PROFESSIONNELLES RECONNUES POUR LA RÉGION ÎLE-DE-FRANCE (\*)

STATISTICS OF RECOGNISED OCCUPATIONAL DISEASES FOR THE ÎLE-DE-FRANCE REGION

	452 KA	454 FB	454 JB	454 JC	
1996	49		1		
	51	1	2		
	62		1		
	84		2		
	<b>Total M.P.</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
	<b>Effectif</b>	<b>1986</b>	<b>3656</b>	<b>17746</b>	<b>3357</b>
1997	49				
	51	2	4		
	62	1	1		
	84		1		
	<b>Total M.P.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0</b>
	<b>Effectif</b>	<b>1982</b>	<b>3501</b>	<b>16696</b>	<b>3253</b>
1998	49	1			
	51	2	4		
	62	1	1		
	84		3	1	
	<b>Total M.P.</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>1</b>
	<b>Effectif</b>	<b>2060</b>	<b>3703</b>	<b>17128</b>	<b>3384</b>

(\*) Intitulés des codes risques : 452 KA Travaux d'étanchéité.  
 454 FB Pose de revêtement intérieur de toute nature scellé ou cloué - Pose de dallage et carrelage intérieur.  
 454 JB Travaux en peinture d'intérieur et travaux annexes.  
 454 JC Ravalement en peinture - Peinture industrielle.

### 3.1.3. Commentaires

Les résultats recensés par l'analyse des données statistiques tendraient à montrer que l'activité d'application de résines n'est pas si préoccupante en matière de santé et sécurité des salariés.

Pourtant, le niveau de ces résultats (surtout pour les maladies professionnelles) semble relativement faible lorsqu'on le met en parallèle avec les situations rencontrées sur les chantiers. Différents facteurs peuvent expliquer cela :

- Une sous-déclaration possible des MP ; elle pourrait être d'autant plus vraie que de très nombreux salariés, dans cette activité, se trouvent dans des situations relativement difficiles (populations immigrées, difficultés de la langue, contrats de travail précaires).

- L'absence de sensibilisation au risque chimique pour les salariés, pour leur encadrement, et même pour certains médecins (du travail ou autres) qui ne font pas le lien entre la pathologie constatée et l'activité professionnelle du patient.

- La difficulté de faire ce lien, et de le faire reconnaître, lorsque l'activité principale exercée par le salarié n'est pas la mise en œuvre de produits chimiques à risques.

## 3.2. Campagnes de mesures sur les chantiers

Neuf chantiers, suivis par le service Prévention de la CRAMIF, ont pu donner lieu à des évaluations de l'exposition des salariés à la toxicité des produits mis en œuvre. Ces évaluations ont pu être réalisées le plus souvent avec le concours du Laboratoire de toxicologie industrielle (mesures d'atmosphère), le Centre de mesures physiques (ventilation) et certains médecins du travail (évaluations biométriologiques). Les résultats obtenus sont présentés après une très brève description du type de chantier correspondant. Là encore, sont essentiellement évoquées les résines époxydiques et polyuréthanes, complétées par un seul cas d'application de résine vinylester-styrène.

### 3.2.1. Les résines époxydiques

Les résultats concernent des applications de résines avec MDA et de résines brai-époxy (cf. § 2), qui sont utilisées dans des applications spécifiques.

### Évaluation MDA

**Caractéristiques du chantier n° 1 – Société E.**

**Objet :** réfection d'un réservoir d'eau potable – surface : 1000 m<sup>2</sup> environ à traiter.

**Salariés :** 1 projeteur, 1 préparateur, 2 aides.

**Produit utilisé :** résine époxy sans solvant, durcisseur avec MDA.

**Phase du mode opératoire en cours :** projection de la couche de finition (pistolet Airless®).

**Ventilation :** oui (soufflage + extraction – taux de renouvellement d'air théorique : 3)

**Mesures réalisées :**

- a) MDA dans atmosphère,
- b) alcool benzylique (plastifiant) et solvants dans atmosphère,
- c) MDA urinaire.

**Résultats :**

- a) Les valeurs de MDA dans l'atmosphère varient entre 40 et 65 % de la VME au niveau du projeteur ; elles sont très faibles (5 % de la VME) au poste de préparation du mélange.
- b) La concentration en alcool benzylique atteint 20 % de la VME au niveau du projeteur ; toutes les autres mesures (autres solvants, autres lieux) restent très faibles.
- c) Les analyses urinaires réalisées sur les 4 salariés révèlent des valeurs comprises entre 2 et 12 fois l'IBE (Indice biologique d'exposition).

**Caractéristiques du chantier n° 2 – Société E.**

**Objet :** réfection de l'étanchéité d'un digesteur dans une station d'épuration.

**Salariés :** 1 projeteur, 1 préparateur, 1 applicateur (retouches à la spatule), 1 aide.

**Produit utilisé :** résine époxy sans solvant, durcisseur avec MDA.

**Phase du mode opératoire en cours :** projection de la couche de finition (pistolet Airless®).

**Ventilation :** oui (soufflage).

**Mesures réalisées :**

- a) MDA dans atmosphère,
  - b) solvants dans atmosphère,
  - c) MDA urinaire.
- Résultats :**
- a) Au niveau du projeteur, on oscille autour de 50 % de la VME en MDA, et à 5 m de la zone de projection, on peut atteindre jusqu'à plus de 40 % de la VME. Par contre, les valeurs au niveau du poste de préparation et du retoucheur sont très faibles (1 à 7 %).
  - b) Les valeurs ne dépassent jamais 10 % de la VME pour les solvants.
  - c) Les analyses urinaires mettent en évidence des niveaux de contamination très élevés : 7 à 25 fois l'IBE (25 fois pour le projeteur, mais également 23 fois pour l'aide).

**Caractéristiques du chantier n° 3 – Société T.**

**Objet :** réfection de l'étanchéité de 2 réservoirs (R1 : 400 m<sup>3</sup> et R2 : 13 000 m<sup>3</sup>) dans une station d'épuration.

**Salariés :**

- équipe projection : 1 projeteur dans le confinement R1, 1 préparateur + 1 aide à l'extérieur,

- équipe rouleau : 2 applicateurs + 2 aides dans le confinement R2.

**Produit utilisé :** résine époxy sans solvant, durcisseur avec MDA.

**Phases du mode opératoire en cours :**

- dans R1 : projection de la résine (pistolet Airless®) ;

- dans R2 : reprises, après stratification, avec résine appliquée au rouleau par 2 salariés, et grattage à la brosse de la résine sèche par les 2 aides (préparation avant passage de la couche finale).

**Ventilation :**

- dans R1 : extraction par groupe moto-ventilateur et conduite souple,

- dans R2 : naturelle (2 ouvertures haute et basse).

**Mesures réalisées :**

- a) MDA dans atmosphère,
- b) frottis pour recherche MDA,
- c) MDA urinaire,
- d) ventilation.

**Résultats :**

a) Pour l'application au rouleau, pas d'exposition des salariés par vapeurs ou aérosols.

Pour l'application au pistolet, la valeur relevée pour le projeteur est de l'ordre de 20 % de la VME, alors qu'elle atteint 35 % de la VME dans l'ambiance (sous la trappe d'accès).

b) Les frottis de surface effectués en fin de poste ont révélé la présence de MDA sur les mains et le visage des salariés (malgré les protections), et sur la table du réfectoire (pollution facilement exportée).

c) Les résultats obtenus en fin de poste et le lendemain matin mettent en évidence des taux de MDA urinaire de :

- 2 à 4 fois l'IBE pour les applicateurs au rouleau,
- supérieures à 10 fois l'IBE pour le projeteur,
- 3 à 11 fois l'IBE pour les préparateurs de mélange,
- 2 à 10 fois l'IBE pour les ouvriers affectés au grattage de la résine sèche.

d) La ventilation est négligeable dans R1 et R2.

**Caractéristiques du chantier n° 4 – Société B.**

**Objet :** reprise de joints de soudure dans des canalisations d'eau potable (diamètre : 1 000 mm ; profondeur : 2 m).

**Salariés :** 2 applicateurs.

**Produit utilisé :** résine époxy solvantée, durcisseur avec MDA.

**Phase du mode opératoire en cours :** brossage de la surface à traiter par le 1<sup>er</sup> salarié, application au rouleau puis finition au pinceau pour la reprise de joint par le 2<sup>e</sup> salarié.

**Ventilation :** soufflage d'air en bout de canalisation (2 500 m<sup>3</sup>/h).

**Mesures réalisées :**

- a) MDA dans atmosphère,
- b) MDA urinaire.

**Résultats :**

a) Valeurs négligeables dans l'atmosphère (< 1 % de la VME).

b) Alors que les quantités mises en œuvre sont extrêmement faibles, on mesure des taux de MDA urinaire 2 fois supérieurs à l'IBE.

**Caractéristiques du chantier n° 5 – Société F.**

**Objet :** réfection de l'étanchéité de 2 réservoirs (R1 et R2) dans un château d'eau.

**Salariés :**

- équipe de projection : 1 projeteur + 1 aide à l'intérieur ; 1 préparateur + 1 aide à l'extérieur,
- équipe rouleau : 4 applicateurs.

**Produit utilisé :** résine époxy sans solvant, durcisseur avec MDA.

**Phases du mode opératoire en cours :**

- dans R1 : projection de la résine (pistolet Airless®) ;
- dans R2 : pose du mat de verre et application de la résine au rouleau.

48 heures après, ponçage de la résine « sèche » (préparation avant passage de la couche finale).

**Ventilation :** aucune.

**Mesures réalisées :**

- a) MDA dans atmosphère,
- b) frottis pour recherche MDA après application résine,
- c) solvants dans atmosphère (débouchage pistolet, nettoyage),
- d) MDA urinaire,
- e) frottis pour recherche MDA après ponçage résine « sèche ».

**Résultats :**

- a) Pour l'application au rouleau, pas d'exposition des salariés par vapeurs ou aérosols. Pour l'application au pistolet, la valeur est de l'ordre de 20 % de la VME pour l'applicateur, 50 % pour l'aide (en fond de cuve pour déplacer l'échafaudage), négligeable pour le préparateur.
- b) Les frottis de surfaces effectués en fin de poste révèlent la présence de MDA sur les mains et le visage des salariés, ainsi que sur la table du réfectoire ;
- c) Les valeurs mesurées atteignent près de 2 fois la VME pour ces opérations.
- d) Les résultats obtenus en fin de poste et le lendemain matin pour le taux de MDA urinaire sont de :
  - 2 à 26 fois l'IBE après l'application au rouleau.
  - 5 fois l'IBE pour la pulvérisation et même 36 fois l'IBE, pour l'aide, en bas de l'échafaudage (intérimaire non formé).
- e) Les frottis de surface effectués en fin de ponçage de la résine « sèche » mettent en évidence une présence de MDA sur les mains et visages des salariés, avec des teneurs supérieures à celles relevées après application de résine (pas de protection cutanée).

L'ensemble des résultats obtenus nous amène aux remarques suivantes :

■ L'exposition à la MDA, par voie respiratoire, est due à l'inhalation d'aérosols (projection) et non de vapeurs (application au rouleau).

■ La pénétration cutanée semble être le facteur principal d'imprégnation par la MDA (taux urinaires élevés chez certains préparateurs de mélange ou applicateurs au rouleau, alors que les valeurs relevées

dans l'atmosphère sont nulles ou négligeables ; taux également plus élevés chez les salariés qui se salissent beaucoup).

■ La présence de MDA sur le corps des salariés (mains, visage) et au réfectoire montrent que les mesures d'hygiène à développer doivent être très rigoureuses y compris lors des opérations de ponçage de résine réticulée.

■ L'installation de systèmes de ventilation doit être étudiée de façon à ne pas générer des courants d'air importants qui favorisent la migration de la pollution (attention à la coactivité !).

■ la sensibilisation aux risques et la formation de tout le personnel (travailleurs temporaires inclus) est nécessaire.

**Évaluation brai-époxy****Caractéristiques du chantier n° 6 - Société T.**

**Objet :** réfection de l'étanchéité d'un digesteur de station d'épuration (surface de 600 m<sup>2</sup> à traiter).

**Salariés :** 1 projeteur (dans le confinement) ; 2 préparateurs (à l'extérieur).

**Produit utilisé :** résine brai-époxydique sans solvant  
**Phase du mode opératoire en cours :** projection de la résine (pistolet Airless®).

**Ventilation :** non, mais cagoule à adduction d'air pour le projeteur.

**Mesures réalisées :**

- a) benzo[a]pyrène dans l'atmosphère (remarque : la valeur limite est une valeur recommandée par la CNAMTS),
- b) solvants dans l'atmosphère.

**Résultats :**

- a) Les valeurs relevées atteignent 44 fois la VME du B[a]P au niveau du projeteur, et varient de 46 à 56 fois la VME dans l'ambiance, jusqu'à 3 m de la zone d'application.
- b) Les concentrations détectées pour les 3 principaux composés du diluant sont faibles, en accord avec la qualité « sans solvant » de la peinture.

Ces résultats montrent que l'application d'une telle résine expose le projeteur non protégé à une substance classée cancérigène, mutagène et toxique pour la reproduction, à un niveau tout à fait inadmissible.

La pénétration par voie cutanée n'a pas pu être évaluée (dosages urinaires nécessaires), mais nous avons constaté visuellement que les salariés, en dépit de leurs EPI, avaient des souillures au niveau des mains, des pieds et du visage. Ils nous ont d'ailleurs confié que l'application d'un brai-époxy est la tâche la plus pénible dans leur métier ; après une journée de travail, ils ressentent des brûlures, des « impressions de feu » au niveau du visage et de la gorge.

Même en respectant un port correct d'équipements de protection individuelle (EPI) adaptés (protection maximale du corps, adduction d'air...), il est quasiment impossible d'éviter les souillures sur ce type de chantier. L'action à développer face à ce danger grave est donc la suppression pure et simple du brai de houille dans ces résines d'étanchéité (certains produits de substitution existent déjà chez les formulateurs).

**3.2.2. Les résines polyuréthanes**

Les 2 chantiers évalués consistaient en des applications manuelles de revêtements de sols. Le MDI n'étant pas volatil, son dosage dans l'atmosphère ne présente pas vraiment d'intérêt. Le dosage du TDI a été réalisé pour le 2<sup>e</sup> chantier.

**Caractéristiques du chantier n° 7 – Société B.**

**Objet :** revêtement de sol dans les allées de circulation d'un collège.

**Salariés :** 2 applicateurs.

**Produit utilisé :** résine PUR solvantée (avec MDI).

**Phase du mode opératoire en cours :** application à la taloche d'une couche intermédiaire et ponçage du sol avant application d'une nouvelle couche (ponceuse à bande et ponceuse à disque manuelle pour les bords).

**Ventilation :** non.

**Mesures réalisées :**

- a) solvant dans l'atmosphère (acétate d'éther de propylène glycol),
- b) poussières inhalables.

**Résultats :**

- a) Les valeurs relevées au niveau des salariés atteignent 50 % de la VME, et 20 % environ dans l'ambiance.
- b) Les concentrations mesurées au niveau du salarié concerné sont supérieures à 50 % de la VME.

Bien que les résultats soient inférieurs à 50 % de la VME, le témoignage des salariés nous semble plus riche en informations. Ils se plaignent de maux de tête réguliers, et même de raideurs dans la nuque, en fin de journée. Ils souffrent d'irritations, de démangeaisons au niveau des genoux ; ceci est sans doute dû aux salissures de leurs vêtements, qui leur agressent davantage la peau lors des phases de travail à genoux. Le contact cutané avec le produit se révèle donc bien être un facteur réel d'atteinte à la santé.

**Caractéristiques du chantier n° 8 – Société E.**

**Objet :** revêtement de sol dans local technique (sous-sol, local très encombré, 170 m<sup>2</sup> à traiter).

**Salariés :** 1 applicateur.

**Produit utilisé :** résine PUR solvantée (avec TDI + HDI).

**Phase du mode opératoire en cours :** application de la couche finale de peinture au rouleau.

**Ventilation :**

- extraction (débit théorique : 4 000 m<sup>3</sup>/h)

**Mesures réalisées :**

a) solvant dans l'atmosphère (méthyléthylcétone),

b) TDI dans l'atmosphère.

**Résultats :**

a) Les valeurs relevées au niveau du salarié atteignent 40 % de la VME, et ne dépassent pas 20 % dans l'ambiance.

b) Les concentrations mesurées au niveau du salarié sont de l'ordre de 20 % de la VME.

Dans ce cas, on constate à nouveau que les résultats obtenus ne sont pas, a priori, très inquiétants. Pourtant, le salarié, un ancien maçon qui applique des résines depuis 3 ans, nous confie qu'il souffre régulièrement de maux de tête en fin de journée, de somnolence, ainsi que de troubles digestifs.

### 3.2.3. Les résines polyester

**Caractéristiques du chantier n° 9 - Société T.**

**Objet :** étanchéité de réservoirs récepteurs d'eaux polluées en station d'épuration, situés dans un vaste hangar (22 m x 15 m au sol, 15 m de hauteur) communiquant avec l'extérieur.

**Salariés :** 4 salariés (2 par étage d'échafaudage : 1 projeteur + 1 aide).

**Produit utilisé :** résine vinylester dans styrène - catalyseur : peroxyde de méthyléthylcétone (produits pompés séparément, mélangés au niveau des buses) ;

**Phase du mode opératoire en cours :** pour chaque équipe de 2, projection de la résine puis étalement au rouleau avant application d'un mat de verre

**Ventilation :** soufflage d'air chaud (température ambiante : 4-6 °C).

**Mesures réalisées :**

a) styrène dans atmosphère,

b) métabolites urinaires du styrène.

**Résultats :**

a) Les valeurs obtenues pour les prélèvements individuels sont comprises entre 70 et 130 % de la VME du styrène, avec une exposition plus forte pour les salariés situés sur l'étage supérieur de l'échafaudage. Notons que, pour ce chantier, l'émission de styrène était certainement minimisée en raison de la faible température ambiante, et diluée du fait du très grand volume du hall dans lequel se trouvaient les cuves à traiter. Tout laisse à penser que l'application de ce revêtement dans un milieu plus confiné, à température ambiante plus élevée, conduirait à des dépassements beaucoup plus importants.

b) Les taux mesurés sont tous inférieurs aux valeurs limites, confirmant que la voie de pénétration du styrène est essentiellement respiratoire.

### 3.3. Commentaires

L'évaluation quantitative, réalisée sur le terrain, de l'exposition (et de la contamination) des salariés, met en évidence des résultats plutôt préoccupants, voire critiques. Même si parfois, pour les résines polyuréthanes en particulier, les mesures des toxiques dans l'atmosphère sont difficiles à réaliser, ou ne révèlent pas des niveaux élevés de pollution, les témoignages recueillis auprès des salariés constituent des éléments essentiels d'appréciation : les gênes, troubles ou même maladies qu'ils évoquent régulièrement sont autant de signes alertant sur l'existence des dangers générés par les produits qu'ils utilisent. Pourtant, ces dangers sont méconnus, ou même ignorés, la plupart du temps. On peut constater sur les chantiers une absence quasi totale de sensibilisation, due essentiellement à l'inexistence de formation ou même d'information.

Très souvent, les salariés ne savent pas comment interpréter les étiquettes (logos) qu'ils voient sur les emballages, ne comprennent pas la nécessité de porter des EPI (qui représentent des contraintes supplémentaires), ne portent pas toujours correctement ces EPI (qu'on ne leur a jamais réellement présentés). Tous ces aspects sont en fait très éloignés de leur métier de base, de l'activité du BTP plus généralement. On peut remarquer, bien souvent, que l'encadrement lui-même n'est pas sensibilisé et formé à ce type de risque.

Il est vrai que l'odeur reste, pour les salariés, un facteur d'alerte important ; si elle devient trop forte ou gênante, elle peut conduire à une interrogation ou une inquiétude. Mais il convient d'attirer l'attention aux phénomènes d'accoutumance, qui font que certains applicateurs ne détectent plus les odeurs des produits qu'ils utilisent régulièrement. De plus, de nombreuses substances sont inodores ou ont un seuil de détection olfactif trop élevé pour servir de seuil de sécurité.

Nous pouvons enfin remarquer que le risque incendie-explosion est complètement ignoré ; il n'est pas rare de voir fumer un salarié à proximité directe de bidons de solvants !

Tous les éléments rassemblés montrent donc combien la tâche en matière de prévention est vaste dans ce domaine d'activités.

## 4. La prévention

Après un rappel très succinct de quelques obligations réglementaires auxquelles sont assujettis les employeurs, nous allons montrer en quoi leur application n'est pas toujours facile à mettre en œuvre sur les chantiers. Une méthodologie de travail, qu'il nous a paru intéressant d'adopter, sera alors proposée : présentation des différentes voies exploitées (actions déjà menées) ou à exploiter, recensement des nombreux acteurs possibles...

### 4.1. La réglementation

En application du Code du travail, les employeurs doivent principalement :

- évaluer les risques résultant de la présence d'agents chimiques pour chaque poste de travail ;
- supprimer l'utilisation de ces agents, quand cela est possible, ou la réduire au minimum ;
- réduire au minimum le nombre de travailleurs exposés, et leur exposition ;
- mettre en place, et faire appliquer, des mesures de prévention appropriées aux risques évalués ;
- veiller à ce que les travailleurs reçoivent une formation et des informations appropriées et actualisées,
- veiller à ce que les travailleurs bénéficient d'une surveillance de la santé conforme à leur activité.

Ces mesures bien adaptées à la prévention dans un contexte industriel sont parfois difficiles à mettre en place sur les chantiers. Différentes raisons sont souvent invoquées :

■ La notion classique de poste de travail n'existe pas sur les chantiers. Chaque nouveau chantier a sa propre configuration (situation, aération, éclairage...) ; les mesures de prévention sont donc variables en fonction des paramètres.

■ Les opérations sont souvent de durée très limitée et la mobilité des travailleurs ne facilite pas la mise en place de mesures efficaces et durables.

■ Les impératifs économiques et de délai de réalisation influencent largement le choix des solutions de prévention.

■ Les interventions se font le plus souvent en présence d'autres corps de métier

qui ne sont pas formés aux risques créés par leurs voisins.

■ Les actions habituelles de formation/information sur les risques se traduisent souvent par des consignes mal comprises et mal ressenties.

Malgré les difficultés évoquées, et effectivement constatées sur les chantiers, on ne peut pourtant pas se contenter de cet état de fait.

## 4.2. Comment organiser la prévention ?

### 4.2.1. Proposition d'une méthodologie

Les risques rencontrés lors des applications de résines conduisent essentiellement au développement de maladies professionnelles. Ces risques étant fonction des dangers propres aux substances mises en œuvre et de l'exposition des salariés à ces substances, les mesures de prévention doivent viser à éliminer l'un des facteurs, ou réduire au moins l'un d'eux.

Pour cela, il nous a paru judicieux de rencontrer tous les professionnels impliqués dans la chaîne, à savoir les formulateurs, les fabricants de matériels d'application et les applicateurs.

La suppression du danger concerne directement les formulateurs, puisqu'il s'agirait pour eux de fabriquer des produits inoffensifs. Il leur faudrait donc, d'une part, intégrer cette contrainte lors du développement de nouvelles résines, et d'autre part, mettre au point des résines de substitution pour remplacer celles actuellement utilisées et qui génèrent des risques importants. Il n'en reste pas moins que les exigences techniques de plus en plus pointues auxquelles doivent répondre les produits freinent parfois le travail des formulateurs. Un directeur technique cite le cas des pistes d'aéroports pour lesquelles le mastic servant à faire les joints contient une résine brai-époxy, qui n'a pas encore trouvé de substitut capable de résister au kérosène !

La deuxième option qui se présente alors est l'élimination (ou la diminution) de l'exposition de l'opérateur au danger. Les fabricants de matériel ont, là, leur rôle à jouer, en mettant au point des outils ou des machines supprimant (ou minimisant) les contacts opérateur/produit. Pourrait-on aller jusqu'à imaginer une sorte de petit robot, télécommandé, qui serait capable

de reproduire les gestes de l'opérateur ? Difficile à dire car les contraintes qui s'imposent aux concepteurs sont également nombreuses. Les visites sur les chantiers ont montré que le matériel doit être :

- simple à utiliser ;
- facilement transportable (les accès sur chantier ne sont pas toujours aisés) ;
- polyvalent par rapport aux types de produits mis en œuvre ;
- de coût modéré.

Le travail avec les sociétés d'application, quant à lui, s'articule sur différents pôles. En bout de chaîne, il s'agit pour eux, et pour chacun de leur chantier, d'évaluer les risques effectivement générés par les produits qu'ils mettent en œuvre, de mettre en place les mesures d'organisation, de protection collective et de protection individuelle les plus appropriées, et de donner les instructions adéquates à leurs travailleurs.

Pour un produit donné, le choix du mode opératoire peut avoir une influence sensible sur le niveau d'exposition.

La mise en œuvre de ces différentes phases repose sur un élément primordial : la connaissance du risque chimique, qui est sans doute encore plus inhabituelle dans cette profession que dans les autres. Dans ce contexte, des actions de formation et d'information paraissent essentielles pour aider les opérateurs (et leur encadrement) à comprendre et se sensibiliser.

Même si on peut espérer progresser dans les trois voies précédemment décrites, il est évident que les actions de prévention seront d'autant plus efficaces qu'elles seront menées le plus en amont possible. Il faut au maximum éviter aux professionnels du BTP des procédures très lourdes à mettre en œuvre et extrêmement contraignantes pour leurs opérateurs. Le réflexe trop courant de ne recourir qu'aux EPI doit être combattu ; il est peu probable que la transformation des applicateurs en véritables hommes de l'espace les aidera dans la réalisation de leur tâche, et les fera adhérer à la démarche de prévention !

Enfin, l'aspect économique (coût) de la prévention doit être pris en compte, dès l'appel d'offres, par les maîtres d'ouvrage.

Nous allons maintenant présenter les thèmes qui ont été abordés avec les professionnels rencontrés, les réalisations déjà accomplies et les voies qui pourraient être exploitées. Parallèlement à ces actions menées dans le milieu professionnel, des

contacts (et même des partenariats) doivent s'établir avec les autres acteurs possibles de la prévention. Cet aspect sera développé en § 4.2.3.

### 4.2.2. Les réalisations - Les projets

#### Les formulateurs

Les représentants des sociétés rencontrées nous ont fait part de leurs projets de développement, dont certains s'inscrivent tout à fait dans le cadre de notre démarche. Citons quelques exemples, soit finalisés, soit en cours :

■ La société P, spécialisée dans les revêtements de sols industriels, a cherché à modifier ses primaires d'accrochage habituellement solvantés. Aujourd'hui, 95 % des primaires proposés sont sans solvants.

■ La société MP, qui fabrique des résines dites « spéciales » (étanchéité de cuves, réservoirs...), a mis au point un produit de substitution à une résine époxy avec MDA (en cours d'homologation pour l'eau potable). Elle travaille également à diminuer le risque présenté par ses produits en essayant de remplacer toutes les substances toxiques par des substances moins dangereuses.

■ La société R (revêtements de sols industriels) développe plusieurs axes de recherche qui, pour certains, ont déjà abouti :

- elle a supprimé les amines aromatiques dans les durcisseurs de résines époxy, pour ne plus employer que des amines aliphatiques ;
- elle a instauré une culture « sans solvants » dans ses formules. Dans les cas pour lesquels elle n'y est pas encore parvenue, elle a abandonné l'utilisation de l'acétate d'éther d'éthylène-glycol au profit de l'acétate d'éther de propylène-glycol.
- elle a pour but de supprimer totalement l'utilisation du TDI dans les résines polyuréthanes (les produits substitués sont au point, mais en cours d'homologation) ;
- elle veut éliminer le brai de houille : même si les recherches ont presque toutes abouti, la société R se heurte encore à la substitution d'une résine brai-époxy (utilisée dans un mastic), dont les qualités techniques ne se retrouvent pas dans les autres produits envisagés.

Ces quelques exemples de réalisations démontrent que des actions importantes peuvent être menées dès la formulation des produits (la substitution de la MDA est, sans aucun doute, une des actions prioritaires à mener).

Notons quand même, que la pression exercée par certains grands maîtres d'ouvrage, qui refusent la mise en œuvre de produits dangereux, est bien évidemment décisive, et très stimulante !

Mais le coût du produit de remplacement est généralement plus élevé que celui du produit initial (dépassement de 50 % dans certains cas), et constitue un frein non négligeable pour le choix final.

Dans le but d'obtenir un meilleur résultat en matière de suppression des risques, un programme de priorités de recherche bien défini, bien ciblé, et surtout élaboré et adopté par l'ensemble de la profession, permettrait de réduire la liste des produits disponibles et d'en diminuer sans doute les coûts.

### Les fabricants de matériel d'application

Les entreprises rencontrées n'ont pas pu réellement nous proposer d'innovations techniques importantes pour améliorer la condition des applicateurs.

L'une d'entre elles avoue même qu'il n'y a pas eu dans ce domaine, sur le matériel destiné au BTP, de développement réel depuis 15 ans.

Même si un directeur commercial nous présente deux thèmes de développement possibles (diminution du brouillard formé lors de la pulvérisation, réduction de la taille des pompes bicomposants), la motivation des fabricants pour le sujet qui nous préoccupe, et leur implication, paraissent bien faibles.

La technologie performante des pompes bicomposants (avec mélange interne au niveau du pistolet) trouve tout à fait sa place dans le milieu industriel, mais ne correspond pas du tout à une utilisation sur chantier (machines encombrantes, lourdes, de coût élevé).

Les propos tenus par les fabricants montrent que l'adaptation du nouveau matériel au domaine du BTP n'est pas vraiment leur priorité ; leurs arguments sont les suivants :

- la main d'œuvre des chantiers n'est pas assez qualifiée pour utiliser les machines en question (nombreux réglages, entretien régulier) ;
- la formation qui doit être faite au client lors de la vente d'un matériel est peu envisageable dans le BTP (corporation difficile à toucher) ;
- ce marché ne représente pas une part très importante.

En clair, l'airless® donne satisfaction, alors pourquoi changer ?

Nous en arrivons donc à la conclusion que les fabricants ne se sentent pas vraiment concernés par les risques rencontrés lors de l'application des produits. Pour obtenir un engagement de leur part, il faudrait absolument pouvoir mettre en évidence un intérêt économique. La tâche ne semble donc pas facile.

Pourtant, deux remarques peuvent être faites : d'une part, l'élimination totale des substances dangereuses sera difficilement réalisable (et pas dans un futur proche, de toute façon) ; d'autre part, le port des EPI s'avérera toujours une source de problème dans l'activité du BTP. A partir de là, la piste du développement de nouveaux matériels d'application se présente comme devant être absolument exploitée.

ENCADRÉ 1

## LES APPLICATEURS ET LE RISQUE CHIMIQUE

Une action d'information et de formation est indispensable. Parallèlement à cela, des aspects doivent être améliorés sur les chantiers : l'organisation du travail, la protection collective, la protection individuelle, l'hygiène.

### LA FORMATION

Bien qu'indispensable, cette formation au risque chimique semble au départ difficile à réaliser pour des salariés très mobiles, pas très habitués à ce genre d'opération, qui ne comprennent pas toujours correctement notre langue. Une piste intéressante se profile pourtant, pour atteindre ce but. Le SNFORES (Syndicat national des formulateurs de résines synthétiques) et l'UNRST (Union nationale des revêtements de sols techniques) ont créé, il y a trois ans environ, l'AFFAR (Association française des formulateurs et applicateurs de résines).

Une commission émanant de cette association s'occupe de sécurité, et l'une de ses priorités est maintenant la formation des salariés.

L'idée de l'AFFAR est d'utiliser un binôme formulateur-applicateur pour assurer cette formation qui devrait être suivie, à terme, par tous les applicateurs. L'intégration d'un module de sensibilisation au risque chimique serait tout à fait judicieuse et nécessaire.

Une telle action engagée par les organisations professionnelles elles-mêmes garantirait, sans aucun doute, une meilleure adhésion des sociétés.

### LES AMÉLIORATIONS SUR LES CHANTIERS

Les constatations faites sur les chantiers montrent que certains aspects doivent faire l'objet de plus d'attention et de rigueur.

#### L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Elle doit contribuer à minimiser l'exposition des salariés, et les risques. Quelques mesures très simples peuvent être respectées :

- ♦ installer le poste de préparation des produits en dehors de la zone d'application chaque fois que cela est possible ;
- ♦ évacuer très rapidement les emballages vides pour qu'ils ne libèrent pas leurs vapeurs dans la zone d'intervention ;
- ♦ n'approvisionner les solvants de nettoyage qu'en quantité juste suffisante, et ne pas laisser les récipients ouverts à l'air libre ;
- ♦ respecter les procédures rigoureuses d'intervention dans les milieux très confinés, tels que cuves, réservoirs ou tuyauteries (cf. recommandation R 276 CNAM « Cuves et réservoirs ») ;
- ♦ ne jamais laisser un travailleur isolé dans une zone d'application ;
- ♦ mettre systématiquement à disposition des zones réfectoire/vestiaires séparées, et éloignées de la zone d'intervention.

## ENCADRÉ 1

## LES APPLICATEURS ET LE RISQUE CHIMIQUE (SUITE)

## LA PROTECTION COLLECTIVE

Ce mode de protection est bien évidemment prioritaire sur la protection individuelle, mais on constate que les professionnels se retranchent quasi systématiquement derrière les EPI (équipements de protection individuelle). Pourtant, certaines mesures semblent impératives.

■ Une ventilation adaptée devrait être systématiquement prévue dès le départ du projet (intégrée au PGCSPPS ou au Plan de prévention). Pour obtenir l'assainissement de l'air nécessaire dans les zones des postes de travail, on privilégiera le captage pour les sources ponctuelles de pollution. A défaut, une ventilation générale assurera un renouvellement minimum de l'air pour éviter l'accumulation des vapeurs, en respectant certains principes :

- ◆ placer les opérateurs dans un courant d'air frais ;
- ◆ compenser les sorties d'air par des entrées correspondantes ;
- ◆ rechercher un écoulement général des zones propres vers les zones polluées ;
- ◆ rejeter l'air pollué à l'extérieur, en dehors des zones d'entrée d'air neuf ;
- ◆ ne dépasser en aucun cas 10 % de la LIE (limite inférieure d'explosivité), 25 % lorsqu'il n'y a pas d'opérateurs.

Les ventilateurs sur les chantiers - dans les cas où on a pensé à en installer - sont trop souvent d'une efficacité médiocre : débits trop faibles ou trop forts, mauvais sens d'aspiration (les salariés se retrouvent entre la source de pollution et le capteur).

■ L'interdiction de fumer devrait être généralisée et affichée sur les chantiers d'application (risque incendie).

■ Une attention toute particulière devrait être apportée au choix du matériel, y compris d'éclairage, pour l'utilisation de produits inflammables (matériel de type « utilisable en atmosphère exploisible »).

■ Des séparations étanches devraient être installées entre avant et arrière des véhicules servant à transporter les emballages (vides ou pleins) ; une aération de la zone arrière par ouvertures sur l'extérieur (grilles de ventilation, par exemple) serait utile.

## LA PROTECTION INDIVIDUELLE

Elle constitue le dernier rempart face au risque et doit être particulièrement bien choisie, et portée. Néanmoins, le choix de l'EPI (masque, gants, combinaison, chaussures) est souvent difficile à faire. Les phrases du type « Porter des gants appropriés », trop souvent écrites dans les « fiches de données de sécurité » des produits, ne constituent pas vraiment une aide efficace. Pourquoi ne pas envisager la rédaction d'un guide qui établirait une correspondance entre les substances rencontrées le plus couramment dans les formulations, et les niveaux de protection nécessaires (type de cartouche pour les masques, matériau des gants, nécessité d'adduction d'air...) ? Ce guide servirait de base, le choix final ne pouvant se faire qu'en fonction de la configuration du chantier.

Les remarques faites par les salariés, quant au port des EPI, sont, elles aussi, très riches d'enseignement. Différents problèmes se répètent :

■ Les masques anti-poussières dont l'étanchéité n'est pas suffisante en partie supérieure, sous les yeux, lors des opérations de ponçage.

■ La durée d'efficacité des cartouches de masques respiratoires, qu'on ne sait toujours pas évaluer (si ce n'est par la détection d'odeur qui pénètre).

■ La chaleur insupportable due à la superposition de 2 ou 3 combinaisons (1 en coton + 2 jetables type TYVECK® pour les projections de résines MDA ou brai-époxy).

Tous ces éléments prouvent à quel point la « solution EPI » est lourde à supporter pour les utilisateurs. Les salariés qui doivent souvent fournir beaucoup d'efforts pour porter ces équipements n'hésitent pas à les retirer quand la fatigue devient trop grande. La priorité, pour eux, reste l'accomplissement de leur tâche.

Toutefois, la cagoule à adduction d'air, dont l'utilisation soulève beaucoup de réticences a priori, est reconnue comme apportant un confort certain et une autonomie illimitée.

La « solution EPI » ne peut donc être adoptée qu'après avoir réellement éliminé toutes les autres solutions (intégrées ou collectives), ou pour des opérations de courte durée et exceptionnelles. Les salariés doivent nécessairement être associés à la sélection des équipements.

## L'HYGIÈNE

De façon générale, la mise en œuvre de nombreuses résines présentant des risques de contamination par voie cutanée nécessiterait des mesures d'hygiène, de propreté, très rigoureuses.

Les seules actions de se laver les mains et le visage après chaque séance d'application (sans utiliser des chiffons imbibés de solvants), de changer totalement de vêtements pour aller manger, d'utiliser des vestiaires différents pour habits de ville et vêtements de travail, seraient très efficaces.

Pour cela, les employeurs doivent effectivement mettre à disposition les moyens matériels nécessaires dès la mise en place du chantier ; les médecins du travail, ainsi que les responsables d'encadrement, doivent, quant à eux, sensibiliser les salariés. Un effort tout particulier est nécessaire dans ce domaine.

## Les applicateurs

Le problème crucial constaté au niveau des sociétés d'application est le manque, ou l'absence, de connaissance du risque chimique. Des actions doivent être menées (cf. encadré 1).

## Les relations inter-professions

Un dialogue semble exister entre les formulateurs et les applicateurs de résines, ne serait-ce que par l'existence de l'AFFAR (Association française des formulateurs et applicateurs de résines) qui devrait permettre d'engager des démarches constructives. Par contre, la collaboration avec les fabricants de matériel constitue un pôle qui devra être développé.

### 4.2.3 Les autres acteurs de la Prévention

L'importance de la démarche à entreprendre nécessite l'implication de tous les acteurs possibles, qui ne pourra que contribuer à l'obtention de meilleurs résultats. Outre les professionnels déjà cités (cf. § 4.2.2), nous avons retenu :

#### Les médecins du travail

Chargés de la surveillance médicale des salariés, ils recueillent souvent leurs propos riches d'informations quant aux situations vécues. Ils sont des interlocuteurs privilégiés et peuvent détecter des situations préoccupantes. Hélas, ils ne connaissent pas toujours exactement la nature de tâches réellement accomplies, ou la composition des produits utilisés.

Un groupe de travail « Risque chimique dans le BTP », composé de représentants de l'ANACT, de l'OPPBTB et de l'INRS, auquel s'est jointe la CRAMIF, a élaboré, avec le concours de plusieurs médecins du travail, un questionnaire d'enquête nationale spécifique à l'application de résines pour les revêtements de sols. Cette enquête devrait permettre de recueillir des données relatives aux conditions de travail des salariés dans cette activité. L'exploitation des questionnaires devrait apporter une aide à la recherche de mesures de prévention. Mais cette enquête devrait aussi permettre aux médecins du travail de mieux affirmer leur rôle de conseillers auprès des entreprises.

Précisons que la participation, au groupe de travail, d'un représentant du Syndicat des Applicateurs (URNST) et d'un formulateur, a été particulièrement intéressante.

## L'OPPBTB

Sa participation au groupe de travail précédemment évoqué sera sans doute motrice pour l'implication de ses représentants sur les chantiers qu'ils visiteront.

### Les organisations professionnelles

Elles constituent un atout primordial si nous voulons mieux faire adhérer les entreprises à la démarche de prévention. Les contacts établis jusqu'ici avec l'AFFAR ont été encourageants.

Une démarche en direction des organisations représentant les fabricants de matériel pourrait être intéressante.

### Les maîtres d'ouvrage

Leur rôle est souvent essentiel. Lors de la rédaction des cahiers des charges, ils peuvent :

- Refuser l'utilisation d'une résine présentant des risques trop importants, créant ainsi des pressions sur les formulateurs pour qu'ils développent des produits moins dangereux.

- Exiger une étude de ventilation spécifique au chantier.

- Intégrer un contrôle sérieux de la sécurité pendant le déroulement du chantier, en donnant les moyens nécessaires au Coordonnateur ou au responsable du projet. L'attention qu'ils devraient apporter à la rédaction des Plans de prévention, ou des PGCSPS suivant les cas, est également un élément clé.

Des actions de sensibilisation peuvent être menées auprès de certains grands maîtres d'ouvrage pour qu'ils intègrent ces propositions, et cherchent même d'autres solutions techniques. Citons l'exemple de l'un d'entre eux, qui participe activement à des recherches de mise au point d'un béton tellement dense que l'application d'un revêtement d'étanchéité ne serait plus nécessaire.

### Les CTR

Ils représentent un relais privilégié, dans la mesure où ils agissent au niveau des organisations professionnelles. Ils peuvent donner du relief aux travaux présentés et constituer un excellent levier pour faire adopter, dans la pratique, les mesures préconisées.

## CONCLUSION

Le recensement des risques posés par la manipulation et la mise en œuvre des résines synthétiques, en milieu confiné, sur les chantiers de BTP, met en évidence un problème réel. Les résultats obtenus lors des évaluations métrologiques et biométriques réalisées en Île-de-France ne font que confirmer le caractère préoccupant de la situation, même si le mesurage ne reflète pas toujours le vécu des salariés et prouve ainsi ses limites. Le manque (ou l'absence) de sensibilisation au risque chimique rencontré chez les salariés, et leur encadrement, provient essentiellement de l'inexistence de formation sur ce sujet qui semble, au premier abord, bien éloigné de leur activité.

Pour réduire les risques professionnels, il faut alors évaluer ce qui pourrait être fait pour diminuer (ou éliminer) les dangers inhérents aux produits utilisés d'une part, et l'exposition des salariés à ces produits d'autre part. Dans ce but, travailler avec tous les professionnels impliqués (formulateurs, fabricants de matériel d'application et applicateurs) paraît être une méthode efficace.

La meilleure prévention est celle qui se fait le plus en amont possible. Dans notre cas tout particulièrement, la substitution des substances dangereuses par d'autres ne présentant pas, ou que peu, de risques, constitue une voie privilégiée que doivent exploiter les formulateurs. Mais les nombreuses exigences techniques auxquelles doivent répondre les résines, font que la substitution ne pourra sans doute pas s'appliquer dans tous les cas, et pas dans un avenir proche de toute façon. Les méthodes d'application utilisées aujourd'hui conduisent toujours à l'exposition des salariés, et au port d'EPI trop contraignants parfois. C'est pourquoi le développement de nouvelles techniques constitue une voie intéressante, et indispensable, à explorer. Un travail commun entre formulateurs, applicateurs et fabricants permettrait sans doute d'aboutir à de telles innovations.

L'approche avec les applicateurs doit se faire essentiellement par le biais de la formation, de l'information dans le but absolu de les sensibiliser aux risques qu'ils rencontrent. Des améliorations apportées à la préparation et à la réalisation des chantiers - en matière d'organisation du travail, de protections collectives et individuelles, et d'hygiène - semblent indispensables, même si les caractéristiques du BTP font qu'il est relativement difficile d'imposer

des règles lourdes sur des chantiers souvent de courte durée.

D'autres acteurs constituent des relais privilégiés, qu'il faut absolument convaincre d'adhérer à la démarche de prévention. L'aide apportée par les médecins du travail, les préventeurs de

l'OPPBT, ainsi que l'engagement des organisations professionnelles et de certains Maîtres d'Ouvrage, permettront de toucher un nombre plus important d'entreprises, qui souvent sont de petite taille et difficiles à trouver. Certaines actions sont déjà engagées dans ce sens.

Cette étude limitée dans le temps a surtout servi à mettre en évidence les problèmes qui se posent. Elle doit maintenant se poursuivre par un travail à long terme, réalisé par des équipes pluridisciplinaires.

## BIBLIOGRAPHIE

1. TURMEL E., FRINAULT T., DENEUVILLERS C. - Les revêtements de sols coulés à base de résines synthétiques. *Revue Générale des Routes et des Aéroports*, 1995, 734.
2. NAVA C., MARCHISIO M., BRIATICO-VANGOSA G., ARBOS-TI G. - La pathologie allergique des résines époxydiques (traduction). *Securitas*, 1974, 59, 7, pp. 469-486.
3. NOEUVEGLISE J. - Les résines époxydiques dans le BTP : risques entraînés par leur emploi et mesures de prévention. *Cahiers de Comités*, 1985, 6, pp. 46-48.
4. MDI - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 129.
5. HDI - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 164.
6. IPDI - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 166.
7. TDI - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 46.
8. Matières plastiques et adjuvants - Hygiène et sécurité. Paris, INRS, ED 638, 46 p.
9. JOUAN M.P. - Sols industriels : les avantages du polyuréthane. *Les Cahiers Techniques du Bâtiment*, 1991, 130, pp. 121-123.
10. HAZEBROUCQ J.J. - Techniques modernes d'application des peintures bi-composants. *Galvano-organo-traitements de surface*, 1999, 695, pp. 441-536.
11. KUPS S - Les cahiers du peinturage industriel. *Galvano-organo-traitements de surface*, 1999, 695, pp. 441-53.
12. VAN PUTTEN P.B., COENRAADS P.J., NATER J.P. - Hand dermatoses and contact allergic reactions in construction workers exposed to epoxy resins. *Contact Dermatitis*, 1984, 10, pp. 146-150.
13. Dr P. GERVAIS - L'allergie aux résines époxydes. *INS, Note n° 437-39-65 (document interne)*.
14. COND-SALAZAR L., GONZALEZ DE DOMINGO M.A., GUIMARAENS D. - Sensitization to epoxy resins systems in special flooring workers. *Contact Dermatitis*, 1994, 31, 3, pp. 157-160.
15. CONSO F. - Exposition aux amines aromatiques cancérigènes en petites et moyennes entreprises et en secteur de recherche. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1998, 3, pp. 166-168.
16. MDA - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 218.
17. BIOTOX - Inventaire des laboratoires effectuant des dosages biologiques de toxiques industriels. Paris, INRS, ED 791, 83 p.
18. ROBERT A., DUCOS P., FRANCIN J.M. - Evaluation de l'exposition professionnelle à la 4-4'-méthylènedianiline (MDA) en France. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1996, 165, pp. 467-474.
19. Brai de houille - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 91.
20. Benzo[a]pyrène - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 144.
21. POIRIER A. - Toxicité des goudrons, brais et bitumes utilisés dans le BTP. *Cahiers des Comités*, 1985, 6, pp. 41-42.
22. Phtalate de dibutyle - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 98.
23. Phtalate de bis(2-éthylhexyle) - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 161.
24. Peintures à solvants - Composition et risques toxicologiques. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1994, ND 1228, 12 p.
25. Phénol - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 15.
26. AMEILLE J., BROCHARD P., DE PALMAS J., PROTEAU J. - Toxicité des isocyanates chez l'homme - Analyse de la relation dose-effet. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1985, 46, 6, pp. 385-391.
27. GOUTET P., PROTOIS J.C. - Les mousses polyuréthanes. Risques liés à la fabrication et à la mise en œuvre. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1980, 98, pp. 31-40 (épuisé).
28. BARBIER M. - Risques présentés par la mise en œuvre des mousses de polyuréthane. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1973, 71, pp. 169-176 (épuisé).
29. CAVALIER C., PHAM Q.T., MEREAU P. et coll. - Isocyanates et fonction respiratoire. Enquêtes épidémiologiques. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1977, 88, pp. 315-327 (épuisé).
30. ROBERT A. - Vandœuvre, INRS. Communication écrite du 07/10/1998 (document interne).
31. BOITEAU H.L., ROSSEL-RENAC F. - Etude expérimentale de l'évaporation du styrène au cours de la polymérisation des résines polyester insaturées. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1978, 39, pp. 52-59.
32. CRANDALL M.S. - Worker exposure to styrene monomer in the reinforced plastic boat-making industry. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1981, 42, pp. 499-502.
33. Styrène - Paris, INRS, coll. Fiche toxicologique, FT 2.
34. F. PILLIÈRE et coll. - La fiche de données de sécurité. Un document riche d'informations, essentiel pour la prévention du risque chimique. *Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail*, 1998, ND 2089, 10 p.

## ANNEXE I

### CARACTÉRISTIQUES DES ISOCYANATES DE BASE - CHARACTERISTICS OF BASIC ISOCYANATES

	TDI	HDI	IPDI	MDI
ASPECT	Liquide incolore ou légèrement jaunâtre, odeur forte et pénétrante (détectable à des concentrations de l'ordre de 0,17 ppm)	Liquide incolore ou jaunâtre, odeur piquante	Liquide incolore ou légèrement jaunâtre, odeur piquante	Cristaux blancs ou jaunes - peut être présent, en quantités importantes, sous forme d'isomères, dans des produits bruts liquides de couleur brune
DENSITÉ DE VAPEUR (AIR = 1)	6	6	7,67	8,5
TENSIONS DE VAPEUR (PA)	2,67 à 10 °C 6,67 à 20 °C 13,33 à 38 °C 57,33 à 66 °C	1,4 à 20 °C 133 à 81,5 °C 399 à 102 °C 1333 à 127 °C	0,04 à 20 °C 0,9 à 50 °C	0,0007 à 25 °C 0,03 à 55 °C 1,73 à 100 °C
POINTS D'ÉCLAIR	135 °C (coupelle ouverte) 127 °C (coupelle fermée)	135 °C (coupelle ouverte)	155 °C (coupelle fermée)	218 °C (coupelle ouverte) 200 °C (coupelle fermée)
LIMITES D'EXPLOSIVITÉ (%VOL.) DANS AIR	limite inférieure : 0,9 limite supérieure : 9,5		limite inférieure : 1	
VLE/VME	VLE 0,020 ppm (0,16 mg/m <sup>3</sup> ) VME 0,010 ppm (0,08 mg/m <sup>3</sup> )	VLE 0,020 ppm (0,15 mg/m <sup>3</sup> ) VME 0,010 ppm (0,075 mg/m <sup>3</sup> )	VLE 0,020 ppm (0,18 mg/m <sup>3</sup> ) VME 0,010 ppm (0,09 mg/m <sup>3</sup> )	VLE 0,020 ppm (0,2 mg/m <sup>3</sup> ) VME 0,010 ppm (0,1 mg/m <sup>3</sup> )
CLASSIFICATION	toxique R 23 irritant R 36/37/38 sensibilisant R 42	toxique R 23 irritant R 36/37/38 sensibilisant R 42/43	toxique R 23 irritant R 36/37/38 sensibilisant R 42	nocif R 20 irritant R 36/37/38 sensibilisant R 42
ÉTIQUETAGE	T	T	T	Xn

## ANNEXE II

## CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE QUELQUES SOLVANTS

## PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOME SOLVENTS

NOM	TENSION DE VAPEUR	POINTS ÉCLAIRS	LIMITES D'EXPLOSIVITÉ (% VOL.) DANS L'AIR		VLE	VME	ÉTIQUETAGE
			INFÉRIEURE	SUPÉRIEURE			
ACÉTONE	24,7 kPa (20 °C) 54,6 kPa (40 °C) 112 kPa (60 °C)	- 18 °C (c.f.) - 9,4 °C (c.o.)	2,15	13		750 ppm (1 800 mg/m <sup>3</sup> )	F
MÉTHYLÉTHYLÉTONE (MEC)	13,3 kPa (25 °C) 26,7 kPa (41,6 °C) 53,3 kPa (60 °C)	- 9 °C (c.f.) - 4 °C (c.o.)	1,8	11,5		200 ppm (600 mg/m <sup>3</sup> )	F, Xi
MÉTHYLISOBUTYLÉTONE (MIBK)	2,15 kPa (20 °C) 8,83 kPa (50 °C)	14 °C (c.f.) 23 °C (c.o.)	1,2	8		50 ppm (205 mg/m <sup>3</sup> )	F
MÉTHANOL	3,8 kPa (0 °C) 12,3 kPa (20 °C) 34,4 kPa (40 °C)	12 °C (c.f.) 16 °C (c.o.)	6,7	36,5	1 000 ppm (1 300 mg/m <sup>3</sup> )	200 ppm (260 mg/m <sup>3</sup> )	F, T
ETHANOL	5,85 kPa (20 °C) 13,3 kPa (34,9 °C) 53,3 kPa (63,5 °C)	12,8 °C (c.f.) 16 °C (c.o.)	3,3	19	5 000 ppm (9 500 mg/m <sup>3</sup> )	1 000 ppm (1 900 mg/m <sup>3</sup> )	F
n-PROPANOL	1,33 kPa (14,7 °C) 2,66 kPa (25,3 °C) 7,99 kPa (43,5 °C)	15 °C (c.f.) 22 °C (c.o.)	2,1	13,5		200 ppm (500 mg/m <sup>3</sup> )	F
ISOPROPANOL	4,4 kPa (20 °C) 14,1 kPa (40 °C) 23,6 kPa (50 °C)	12 °C (c.f.) 18 °C (c.o.)	2	12	400 ppm (980 mg/m <sup>3</sup> )		F
n-BUTANOL	0,58 kPa (20 °C) 4,49 kPa (50 °C) 14,97 kPa (70 °C)	35 °C (c.f.) 40 °C (c.o.)	1,4	11,25	50 ppm (150 mg/m <sup>3</sup> )		Xn
TOLUÈNE	0,91 kPa (0 °C) 74,19 kPa (100 °C)	4,4 °C (c.f.)	1,2	7,1	150 ppm (550 mg/m <sup>3</sup> )	10 ppm (375 mg/m <sup>3</sup> )	F, Xn
XYLÈNES o-XYLÈNE	0,133 kPa (- 3,8 °C) 1,33 kPa (32,1 °C) 13,33 kPa (81,3 °C)	27 °C	1	6	150 ppm (650 mg/m <sup>3</sup> )	100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> )	Xn
m-XYLÈNE	0,133 kPa (- 6,9 °C) 1,33 kPa (28,3 °C) 13,33 kPa (76,8 °C)	29 °C	1,1	7	150 ppm (650 mg/m <sup>3</sup> )	100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> )	Xn
p-XYLÈNE	0,133 kPa (- 8,1 °C) 1,33 kPa (27,3 °C) 13,33 kPa (75,9 °C)	27 °C	1,1	7	150 ppm (650 mg/m <sup>3</sup> )	100 ppm (435 mg/m <sup>3</sup> )	Xn
DICHLOROMÉTHANE (OU CHLORURE DE MÉTHYLÈNE)	19,6 kPa (0 °C) 30,7 kPa (10 °C) 46,5 kPa (20 °C) 68,1 kPa (30 °C)		13	22	100 ppm (350 mg/m <sup>3</sup> )	50 ppm (180 mg/m <sup>3</sup> )	Xn
DICHLOROÉTHANE (OU CHLORURE D'ÉTHYLÈNE)	3,3 kPa (0 °C) 8,5 kPa (20 °C) 21,3 kPa (40 °C)	13 °C (c.f.) 18,3 °C (c.o.)	6,2	16		10 ppm (40 mg/m <sup>3</sup> )	T, F
TRICHLOROÉTHYLÈNE	2,65 kPa (0 °C) 7,71 kPa (20 °C) 19,57 kPa (40 °C)		12,5	90	200 ppm (1 080 mg/m <sup>3</sup> )	75 ppm (405 mg/m <sup>3</sup> )	Xn, N
ACÉTATE DE MÉTHYLE	13,3 kPa (9,4 °C) 26,7 kPa (24 °C) 53,3 kPa (40 °C)	- 10 °C (c.f.) - 5,6 °C (c.o.)	3,1	16	250 ppm (760 mg/m <sup>3</sup> )	200 ppm (610 mg/m <sup>3</sup> )	F
ACÉTATE D'ÉTHYLE	5,6 kPa (10 °C) 15,5 kPa (30 °C) 37,3 kPa (50 °C)	- 4,4 °C (c.f.) - 7,2 °C (c.o.)	2	11,5		400 ppm (1 400 mg/m <sup>3</sup> )	F
ACÉTATE DE n-PROPYLE	2,66 kPa (16 °C) 5,33 kPa (28,8 °C) 26,66 kPa (64 °C)	13 à 14 °C (c.f.)	1,8	8		200 ppm (840 mg/m <sup>3</sup> )	F
ACÉTATE D'ISOPROPYLE	5,33 kPa (17 °C) 7,99 kPa (25,1 °C) 26,66 kPa (51,7 °C)	2 à 4 °C (c.f.)	1,8	8	300 ppm (1 140 mg/m <sup>3</sup> )	250 ppm (950 mg/m <sup>3</sup> )	F
ACÉTATE D'ISOBUTYLE	2,13 kPa (20 °C)	17 à 18 °C (c.f.)	1,3 à 2,4	10,5 à 15	200 ppm (940 mg/m <sup>3</sup> )	150 ppm (710 mg/m <sup>3</sup> )	F
ACÉTATE DE 2-MÉTHOXY- 1-MÉTHYLÉTHYLE	0,49 kPa (20 °C)	42 à 48 °C (c.f.)	1,5	12		275 mg/m <sup>3</sup> (*)	
ALCOOL BENZYLIQUE	13,3 Pa (30 °C) 133 Pa (58 °C) 1330 Pa (89 °C)	100,5 °C (c.f.) 104,4 °C (c.o.)	1,3	13		10 ppm (**) (44 mg/m <sup>3</sup> )	Xn
STYRÈNE	312 Pa (10 °C) 600 Pa (20 °C) 1095 Pa (30 °C)	31 °C (c.f.) 37 °C (c.o.)	1,1	6,1		50 ppm (215 mg/m <sup>3</sup> )	Xn

(\*) valeur allemande proposée

(\*\*) valeur américaine proposée

c.o. : coupelle ouverte

c.f. : coupelle fermée

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14**

Tiré à part de *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 3<sup>e</sup> trimestre 2001, n° 184 - ND 2152 - 1800 ex.  
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-1044-0

**Imprimerie de Montligeon - 61400 La Chapelle Montligeon**