

## Allergologie-dermatologie professionnelle

# Dermatite professionnelle dans le secteur de l'électronique

### AUTEUR :

M.N. Crépy, Dermatologie professionnelle, Hôpital Cochin, Paris et Hôpital Raymond-Poincaré, Garches

Le secteur de l'électronique comprend la fabrication de circuits intégrés à semi-conducteurs et de circuits imprimés, le montage de cartes à circuit imprimé et l'assemblage d'appareils contenant des cartes électroniques. Il est caractérisé par l'automatisation de la majorité des procédés, une technologie de pointe en renouvellement permanent et la diversité des produits utilisés.

Les principales dermatoses sont les dermatites de contact d'irritation et d'allergie (plus rarement des urticaires de contact). Il existe un risque de brûlures thermiques ou chimiques (acide fluorhydrique...) et de réactions potentiellement graves d'hypersensibilité au trichloroéthylène. Les principaux irritants sont chimiques (solvants, acides et bases, flux de soudure) et physiques (fibres de verre, taux d'humidité bas en salle blanche). Les principaux allergènes sont les métaux, les résines, les flux de soudure et les additifs du caoutchouc.

*Le diagnostic étiologique nécessite des tests allergologiques avec la batterie standard européenne, les batteries spécialisées et les produits professionnels.*

*La prévention technique doit mettre en œuvre toutes les mesures susceptibles de réduire l'exposition. La prévention médicale repose sur la réduction maximale du contact cutané avec les irritants et l'éviction complète du contact cutané avec les allergènes.*

*Ces affections sont réparées au titre de plusieurs tableaux de maladies professionnelles, en fonction des substances chimiques entrant dans la composition des produits utilisés.*

### MOT CLÉS

Dermatose /  
allergie / dermatite  
de contact /  
industrie de  
l'électronique

L'électronique est un secteur mondial en plein essor caractérisé par la diversité de ses procédés, la complexité des équipements et étapes de fabrication des produits et l'évolution permanente des technologies.

Il comprend la fabrication de circuits intégrés à semi-conducteurs (produits à base de silicium ou de composés III-V), fabrication de circuits imprimés, montage de cartes à circuit imprimé et assemblage d'appareils contenant des cartes électroniques [1, 2].

Les domaines d'application sont multiples : composants électroni-



© N. Robin pour l'INRS

ques, électronique grand public, télécommunications, communications militaires, ordinateurs et périphériques, électronique industrielle, électronique médicale...

Les composants électroniques comprennent les produits à semi-conducteurs (transistors, diodes, circuits intégrés, diodes électro-

minescentes ou DEL et affichages à cristaux liquides), divers composants passifs (condensateurs, résistances, bobines, transformateurs) et les tubes à électrons (tubes de réception, de télévision et à usage spécial).

La fabrication est essentiellement réalisée en Asie-Pacifique.

↓ Encadré 1

### ABRÉVIATIONS

- **DEEE** : déchets d'équipements électriques et électroniques
- **DRESS** : *drug rash with eosinophilia and systemic symptoms*
- **DGEBA** : éther diglycidyle du bisphénol A
- **FIOH** : *Finnish institute of Occupational Health*
- **LCD** : *liquid cristal display*
- **MDA** : 4,4'-diaminodiphénylméthane ou 4,4'-méthylènedianiline
- **MHHPA** : anhydride méthylhexahydrophthalique
- **MTHPA** : anhydride méthyltétrahydrophthalique
- **PPD** : p-phénylènediamine
- **SJS/TEN** : syndrome de Stevens-Johnson/ nécrolyse épidermique toxique
- **TCE** : trichloroéthylène
- **TDI** : 2,4-diisocyanate de toluylène
- **TGIC** : isocyanurate de triglycidyle
- **TMPTA** : triacrylate de triméthylolpropane

La France a connu ces dernières années un développement considérable des filières de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), les entreprises et ménages générant plus de 1,5 millions de tonnes de déchets de DEEE par an [3].

### GÉNÉRALITÉS SUR LA FABRICATION ET LE MONTAGE

Du fait de la complexité des techniques et des produits, seules les étapes pouvant présenter des risques d'exposition à des substances chimiques sont détaillées.

### FABRICATION DE COMPOSANTS À SEMI-CONDUCTEURS

Il s'agit d'un élément discret (un composant actif comme un transistor) ou de circuits intégrés comprenant un ensemble d'éléments actifs et passifs reliés entre eux sur un même substrat semi-conducteur.

#### Composants au silicium

Le procédé de fabrication est complexe et varié mais il comprend au moins 6 grandes étapes : l'oxydation, la photolithographie, la gravure chimique, le dopage, le dépôt chimique en phase vapeur et la métallisation. Puis sont effectués l'assemblage et les essais.

#### ● Oxydation

La première étape est la formation d'une mince couche de protection de dioxyde de silicium qui s'effectue dans des fours à haute température. Au préalable, les plaquettes de silicium sont nettoyées avec des détergents, puis rincées avec un solvant (xylène, alcool isopropylique...).

#### ● Photolithographie

Le processus de photolithographie qui est ensuite effectué est directement issu des techniques d'imprimerie. Le circuit microélectronique est formé couche après couche par un processus apparenté aux plaques d'impression. Différents produits chimiques sont utilisés à ce stade.

- La surface extérieure est nettoyée à l'aide de divers produits : eau, détergents, solvants (alcool isopropylique, acétone, éthanol, terpènes...), acides (acide fluorhydrique, sulfurique, chlorhydrique, nitrique...), agents basiques (ammoniaque).

- Une résine photosensible est ensuite appliquée : de nombreuses substances sont utilisées, dont des acrylates et méthacrylates.

- Le masque est aligné sur la plaquette qui subit une exposition à la lumière ultraviolette.

- Lors du développement, les zones non polymérisées sont dissoutes par des produits révélateurs.

#### ● Gravure chimique

Elle élimine, selon les dessins souhaités, les couches de dioxyde de silicium et les restes de résines photosensibles. Lors de certains procédés, notamment la gravure chimique humide, des acides concentrés sont utilisés, en particulier l'acide fluorhydrique.

#### ● Dopage

Ce procédé consiste à introduire des quantités contrôlées d'impuretés élémentaires appelées dopants formant des jonctions permettant au courant de circuler plus facilement dans un sens que dans l'autre. Des composés d'antimoine, d'arsenic (trioxyde d'arsenic, arsine), de phosphore, de bore peuvent être utilisés comme dopants. L'exposition à l'arsenic est possible lors d'activités de nettoyage de surfaces contaminées, et en particulier lors du nettoyage des fours et réacteurs.

#### ● Dépôt chimique en phase vapeur

Le dépôt chimique en phase vapeur (*Chemical Vapour Deposition* ou CVD) est la déposition d'une couche supplémentaire de matériau à la surface de la plaquette de silicium. Elle assure notamment la stabilité électrique de la plaquette en isolant sa surface des conditions électriques et chimiques ultérieures. Pour le nettoyage, du trifluorure de chlore et de l'acide fluorhydrique sont utilisés.

#### ● Métallisation

Cette étape permet de relier entre eux les circuits formés précédem-

ment sur le substrat de silicium afin d'obtenir les fonctions désirées. Les métaux les plus utilisés sont l'aluminium, le nickel, le chrome, l'or, le germanium, le cuivre, l'argent, le titane, le tungstène, le platine et le tantale.

L'assemblage et les essais se déroulent habituellement dans d'autres lieux que ceux de la production, ils ne nécessitent pas de travailler en salle blanche. Cette étape comprend des activités de brasage tendre (qui expose à la colophane), de dégraissage et d'essais avec différents produits chimiques, de décoration et de marquage. La plaquette est ensuite découpée au diamant, au laser ou à la scie circulaire diamantée. Les puces individualisées sont ensuite collées sur des boîtiers par différents procédés dont le collage époxy. Puis le circuit intégré est encapsulé dans des boîtiers en plastique moulé pour lui donner des caractéristiques électriques, thermiques, physiques et chimiques précises. Les produits de moulage peuvent comprendre des résines thermodurcissables époxy, des durcisseurs novolaques époxy et des anhydrides époxy. Lors du marquage, des encres sont utilisées ainsi que des solvants (éthanol, acétate d'éthyle...).

### Composants aux semi-conducteurs III-V

L'arséniure de gallium appartient à la famille des semi-conducteurs dits III-V par référence aux colonnes III et V du tableau périodique des éléments. Il est utilisé comme substitut du silicium du fait de meilleures performances. Les opérations de découpe de plaquettes ou de maintenance des fours et réacteurs nécessitent des moyens de prévention rigoureux pour éviter l'exposition aux pous-

sières d'arsenic. Un certain nombre de produits chimiques utilisés sont comparables à ceux mis en œuvre dans la fabrication de composants au silicium : solvants de nettoyage, résines photosensibles, acides forts pour l'attaque chimique, arsenic ou arséniure de zinc comme dopants, métallisation avec dépôt d'or.

### FABRICATION D'AFFICHAGES À CRISTAUX LIQUIDES

Ils sont de plus en plus utilisés et remplacent le tube cathodique. Les quantités et types de produits chimiques utilisés, notamment les substances toxiques, corrosives ou inflammables, sont plus limités que dans d'autres productions de semi-conducteurs. Divers solvants organiques sont utilisés pour le nettoyage : acétone, éthanol, n-propanol, xylène, trichloroéthylène (TCE), tétrachloroéthylène.

### MONTAGE DES CARTES À CIRCUIT IMPRIMÉ ET ASSEMBLAGE DE PRODUITS CONTENANT DES CARTES ÉLECTRONIQUES

Le circuit imprimé est le support accueillant un ensemble de composants électroniques entre eux dans le but de réaliser un circuit électronique complexe. Il peut être à simple face ou de plus en plus à double face, multicouches, flexible ou rigide. Le substrat le plus utilisé est la plaque en stratifié (résine époxy et fibre de verre en multicouches). D'autres supports peuvent être utilisés comme le verre, les résines polyimides, le téflon, la triazine et du papier enduit de résine phénolique (résines phénol-formaldéhyde).

La première étape est la fabrication des circuits imprimés comprenant : l'empilage des plaques revêtues de cuivre avec le matériau de base et des plaques support, le perçage de trous,

le placage de cuivre sur les trous métallisés, l'application de résines photosensibles pour le transfert de l'image, le décapage et la gravure, le masque de soudure, le placage or et nickel et le marquage des légendes des composants par sérigraphie (encres à base de résines époxy).

La seconde étape est le montage des composants électroniques sur la carte par différents procédés (soudure, résines époxy). La soudure par brasage tendre permet également d'établir des connexions entre les différents composants selon un schéma déterminé. Différents produits chimiques sont utilisés selon les étapes : produits de nettoyage (solvants, décapants), résines photosensibles, encres époxy pour la sérigraphie, métaux lors du placage or et nickel.

Pour l'application de brasure en pâte et d'adhésif, la pâte de brasure contient un mélange de résines modifiées (acides de colophane, colophane activée), un alliage plomb/étain, des activateurs (mélanges d'hydrohalogénures, d'amines et d'acides aminés ou d'acides carboxyliques) associé à des solvants (alcool, éthers de glycol). L'adhésif est généralement une résine époxy (type DGEBA ou éther diglycidique du bisphénol A).

Différents types de flux sont utilisés pour assurer une bonne liaison par brasure entre la surface du circuit imprimé et les points de connection du composant, notamment des flux à la colophane naturelle, les plus courants. Ils comprennent 3 composants : la colophane, l'activateur (comme le chlorhydrate d'amine qui dégage de l'acide chlorhydrique quand il est chauffé) et le solvant (généralement un mélange d'alcools). Lors de cette opération d'assemblage qui nécessite la fusion de la brasure, il y a émission de gaz et de

particules aéroportées. Parmi les substances émises, on peut citer notamment l'acide abiétique, les acides diterpéniques, les aldéhydes aliphatiques dont le formaldéhyde. D'autres flux organiques sont utilisés pouvant contenir des acides (acide stéarique, acide glutamique...), des halogènes (hydrazine, bromures, chlorhydrates), des amides et des amines (triéthanolamine...).

La carte à circuit imprimé est ensuite incorporée à l'appareil électronique final.

## ÉTIOLOGIES

Bien que ce secteur industriel soit presque complètement automatisé, des risques cutanés spécifiques existent, particulièrement lors des activités de nettoyage, réparation et maintenance.

## IRRITANTS

### Chimiques

#### ● Solvants

De très nombreux solvants organiques sont utilisés comme dégraissants et nettoyants dans le secteur de l'électronique : xylène, acétate de n-butyle, alcools (alcool isopropylique), éthers de glycol, 1,1,1-trichloroéthane, acétone, méthyléthylcétone, naphthalène, o-dichlorobenzène, tétrachloroéthylène, TCE, phénols et fréons [1, 4]. Ils sont surtout irritants.

#### Particularités du trichloroéthylène (TCE)

Ce solvant est classé cancérigène catégorie 2 par l'Union européenne (1B selon le règlement CLP) [5]. Il a été très utilisé jusqu'au milieu des années 1980 puis remplacé par des chlorofluorocarbones et le 1,1,1-trichloroéthane. Cependant, depuis 1996, certains de ces solvants ont été

interdits ou sont en cours d'interdiction du fait de leurs effets néfastes sur la couche d'ozone. Malgré sa toxicité, le TCE est toujours utilisé, notamment dans les pays récemment industrialisés.

Plus de 300 cas d'éruptions généralisées à type de toxidermies liées à l'exposition au TCE ont été rapportés, principalement en Asie [6]. Elles sont classées en 2 grands types : nécrolyse épidermique toxique (qui comprend le syndrome de Stevens-Johnson et le syndrome de Lyell) et syndrome d'hypersensibilité type DRESS (*drug rash with eosinophilia and systemic symptoms*). Comme pour les causes médicamenteuses, le rôle de facteurs génétiques de susceptibilité est suspecté, notamment le HLA-B\*1301 en Asie [6, 7]. En Chine, ce syndrome d'hypersensibilité au TCE est devenu une des maladies professionnelles les plus préoccupantes [8].

#### ● Substances corrosives

Des substances corrosives sont fréquemment utilisées pour le nettoyage, le décapage de résines photosensibles, la gravure humide : acide fluorhydrique, sulfurique, chlorhydrique ou nitrique, fluorures, ammoniac.

Plusieurs cas de brûlure à l'acide fluorhydrique ont été rapportés dans l'industrie des semi-conducteurs. Leur fréquence actuelle tend à diminuer du fait de l'automatisation de plus en plus perfectionnée [1, 9, 10].

Le trifluorure de chlore est utilisé depuis les années 1990 dans l'industrie de fabrication de semi-conducteurs notamment pour le nettoyage lors du procédé de dépôt chimique en phase vapeur [11]. Il est extrêmement irritant et corrosif pour la peau, les yeux et les muqueuses respiratoires du fait de l'action de ses produits

d'hydrolyse, notamment l'acide fluorhydrique.

#### ● Flux de soudure

Les flux de soudure contiennent de la colophane, des acides organiques, des amines et des alcools (alcool isopropylique...) [12]. En plus des allergies bien connues, ils peuvent provoquer des irritations. Actuellement, dans beaucoup d'entreprises d'électronique, la soudure est effectuée automatiquement avec des systèmes d'aspiration. Les employés sont moins exposés aux fumées de soudure. Au Japon, Yokota et al. [12] rapportent deux cas de dermatites de contact d'irritation chez des employés du secteur de l'électronique effectuant le nettoyage des appareils de soudure avec une brosse et exposés aux résidus de poussières de soudure. Les tests épicutanés avec la colophane fournie par le fabricant sont négatifs (dilution à 20 %, 10 % et 1 % dans l'huile d'olive). Les tests avec les résidus de soudure sont positifs à une croix chez les 2 patients et chez 2 sujets témoins non exposés et donc interprétés comme une réaction d'irritation. La composition fournie par le fabricant indique 85 % d'alcool isopropylique, 12,8 % de colophane et 2,2 % d'activateur (composition exacte de l'activateur non fournie).

## Physiques

#### ● Fibres de verre

Les fibres de verre (*photo 1*) ont une résistance élevée à la corrosion chimique, à la dégradation microbienne et à la conduction de chaleur et d'électricité. Elles sont très utilisées en électronique, surtout comme matériau de renforcement des circuits imprimés. Des spicules acérés peuvent se détacher des bordures des circuits imprimés

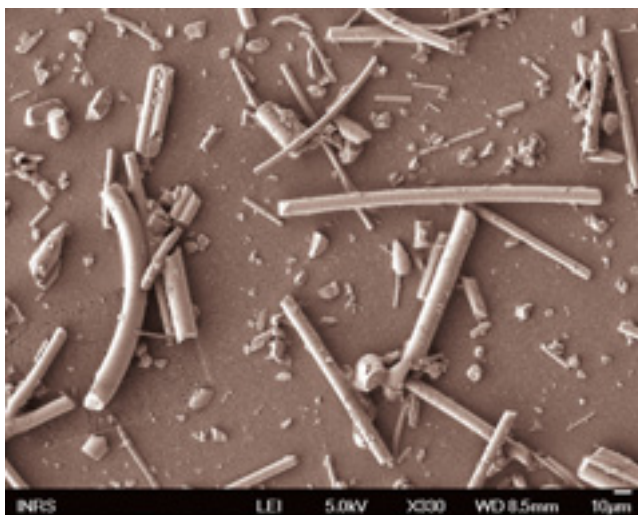


Photo 1 : Fibres de verres.

més, pénétrer dans la peau et provoquer une dermatite de contact d'irritation communément appelée dermatite aux fibres de verre. Certaines tâches exposant à la libération de fibres dans l'air ambiant (forage et perçage de trous de circuits imprimés) peuvent être responsables d'épidémies de dermatite et de prurit.

Hsieh et al. [13] ont effectué une étude chez 14 patientes travaillant dans 5 usines différentes d'électronique et ayant une dermatite aux fibres de verre. Ils ont comparé, en microscopie électronique à balayage, des spicules prélevés à la surface de la peau avec ceux issus des bords des circuits imprimés ou de la poussière provenant des postes de travail. Les fibres présentent toutes un diamètre de 10 µm. Les spicules issus du travail (circuits imprimés manipulés, poussières) ont des formes et tailles variables et sont souvent groupés en faisceaux. Par contre ceux collectés sur la peau sont plus uniformes, détachés les uns des autres avec à peu près la même longueur - entre 50 et 150 µm - et des extrémités pointues

expliquant leur pénétration plus facile dans l'épiderme.

#### ● Atmosphère contrôlée en salle blanche

Certaines étapes de la fabrication des composants à semi-conducteurs nécessitent de travailler en salle blanche pour limiter la contamination particulière. De plus, les employés doivent porter des tenues spécifiques enveloppantes pour éviter toute introduction de contaminants particuliers.

Le faible taux d'humidité parfois constaté dans ces salles blanches, du fait du traitement de l'air, peut être responsable d'une augmentation de la prévalence des symptômes de sécheresse cutanée, oculaire, du nez et de la gorge [14].

Rischitelli rapporte une épidémie de prurit associé ou non à d'autres symptômes (sensation de brûlure, sécheresse cutanée, érythème) chez 11 sur 12 employés d'un atelier de sérigraphie dans une entreprise de fabrication de circuits imprimés aux USA. Le seul facteur retrouvé est le faible taux d'humidité (entre 35 et 40 %) [15].

## ALLERGÈNES RESPONSABLES DE DERMATITE DE CONTACT ALLERGIQUE

Une revue de la littérature très complète a été effectuée en 2000 par Cleenewerck [16].

### Métaux

#### ● Nickel

L'exposition au nickel peut être due aux outils métalliques ou aux alliages manipulés par les employés. Les bracelets anti-électrostatiques portés par le personnel des chaînes d'assemblage peuvent également être une source d'exposition.

Les décharges électrostatiques peuvent endommager les composants électroniques. De ce fait, il est souvent nécessaire que les employés portent des bracelets antistatiques reliés à la terre [17]. Ils sont constitués d'une bande textile élastique contenant des fils d'acier et une plaque métallique également en acier comportant un rivet. Des cas de dermatite de contact allergique au nickel de bracelets antistatiques ont été rapportés [18].

#### ● Chrome et cobalt

Plusieurs cas anciens de dermatite de contact allergique au chrome ont été rapportés chez des employés de fabrication de téléviseurs (technique des tubes cathodiques actuellement remplacée par d'autres technologies) [19, 20].

En 1997, Ali rapporte une épidémie de dermatites chez des employés d'une entreprise de fabrication de téléviseurs au Brésil [21]. La moitié d'entre eux (9 sur 18) présentent des tests épicutanés positifs et pertinents au bichromate d'ammonium utilisé comme fixateur de l'alcool polyvinylique. Des pigments fluorescents rouge, bleu et vert sont dissous dans l'alcool polyvinylique. Ces substances fluorescentes sont vaporisées sur les

écrans de téléviseurs. L'activité de pesée de la poudre de bichromate d'ammonium avant de la mélanger à l'eau puis de la mixer à l'alcool polyvinylique est considérée comme la cause de la sensibilisation.

#### ● Autres métaux

L'arsenic et ses composés sont utilisés dans la production de microcomposants en microélectronique (notamment arséniure de gallium comme substrat de semi-conducteurs et arsine comme dopant pour la fabrication de microcomposants) [22]. Les employés les plus exposés sont ceux effectuant le nettoyage et la maintenance des fours et réacteurs. Il n'a pas été décrit de dermatite de contact allergique documentée à l'arsenic dans le secteur de l'électronique [1].

D'autres métaux peuvent être utilisés dans le secteur de l'électronique : argent, cuivre, mercure, or, platine. Aucune dermatite de contact allergique professionnelle bien documentée à ces métaux n'a été décrite dans ce secteur d'activité.

### Résines

#### ● Résines époxy

Ce sont des allergènes fréquemment positifs dans l'exploration des eczémats chez le personnel du secteur de l'électronique [4, 23, 24].

Elles sont utilisées à de nombreuses étapes de la fabrication des semi-conducteurs et des circuits imprimés : collage époxy des puces individualisées sur des boîtiers, produits de moulage comprenant des résines thermodurcissables époxy, durcisseurs novolaques époxy et anhydrides époxy pour boîtiers, plaques en stratifié (résine époxy) de circuit imprimé, marquage des légendes des composants par sérigraphie avec des encres à base de résines époxy, montage des composants électroniques sur la carte par diffé-

rents procédés dont l'utilisation de résines époxy...

Plusieurs cas de dermatite de contact allergique aux résines époxy dans le secteur de l'électronique ont été publiés [4, 25 à 28]. Il s'agit le plus souvent de sensibilisations à une résine de type DGEBA, laquelle est dépistée par la batterie standard européenne, mais d'autres résines époxy, diluants réactifs et durcisseurs peuvent être incriminés (photos 2, 3 et 5).

Tosti et al. [27] rapportent 5 cas de dermatite de contact allergique aux résines époxy chez des employés de fabrication de condensateurs de radio et de télévision. Les tests sont positifs aux résines époxy dans tous les cas et aux durcisseurs dans un cas (éthylènediamine, diéthylènetriamine et triéthylènetétramine).

Xuemin et al. [28] rapportent 17 cas de dermatites de contact survenues dans une entreprise de fabrication d'équipements électriques. Les tests sont positifs à la résine époxy DGEBA dans 3 cas, à une autre résine époxy non-DGEBA dans 3 cas et à un durcisseur (substance non mentionnée) dans 1 cas.

Jolanki et al. [29] rapportent une dermatite de contact allergique aéroportée à des composants d'encres photopolymérisables chez une employée de fabrication de circuits imprimés. L'eczéma est localisé au visage (dont les paupières), aux mains et aux avant-bras. La patiente ne portait pas de gants du fait d'une gêne dans son travail. Les tests sont positifs au 4,4'-diaminodiphénylméthane (4,4'-méthylènedianiline ou MDA), durcisseur d'une encre bi-composant à base de résine époxy utilisée au travail, à l'isocyanurate de triglycidyle (TGIC), durcisseur d'une encre bicomposant à base de résines époxy-acrylates utilisée au travail, et au méthacrylate de 2-hydroxyéthyle (2-HEMA) d'une encre



Photo 2 : Dermatite de contact allergique aux acrylates et résines époxy de colles, localisée aux pulpes chez un technicien de fibres optiques (optoélectronique).

monocomposant utilisée aussi par la patiente. Les tests épicutanés sont également positifs à deux résines époxy, l'éther diglycidyle de l'éthylène-glycol, l'éther diglycidyle du tétrapropylène-glycol (mais négatifs à la résine époxy DGEBA de la batterie standard), à 2 diluants réactifs (l'éther diglycidyle du néopentylglycol et l'éther diglycidyle du 1,4-butanediol) et à des acrylates. La patiente a dû arrêter l'activité de sérigraphie.

Yokota et al. [30, 31] rapportent 2 cas de dermatite de contact allergique à une résine époxy, le 1,6-bis(2,3-époxypropoxy)naphthalène chez 2 employés de fabrication de composants électriques isolants. Les tests épicutanés avec le 1,6-bis(2,3-époxypropoxy)naphthalène à 0,5 % et 1 % dans l'huile d'olive étaient positifs (tests négatifs chez 10 sujets témoins).

#### ● Résines polyacrylates

L'application de couches protectrices résistantes à la soudure est

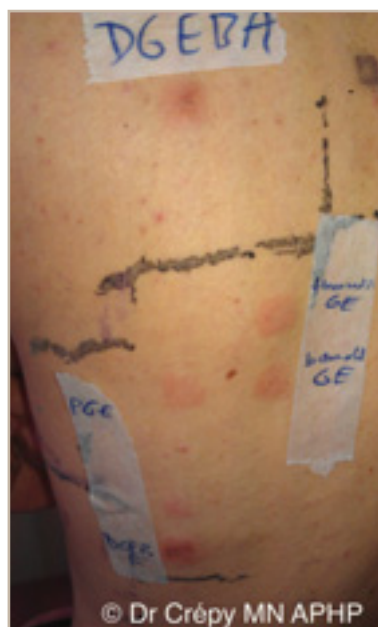


Photo 3 : Les tests épicutanés sont positifs à différents acrylates et résines époxy utilisés au poste de travail du technicien optoélectronique.

une étape importante dans la fabrication de circuits imprimés. Ce sont des encres photopolymérisables qui ont une vitesse de séchage augmentée. Elles contiennent des monomères acryliques (mono- et polyfonctionnels), des époxy-acrylates et des photo-initiateurs.

Plusieurs cas de dermatite de contact allergique aux acrylates ont été rapportés dans le secteur de l'électronique.

Craven et al. [32] décrivent un cas chez un chimiste ayant travaillé plus de 15 ans au développement d'encres pour circuits imprimés résistant à la soudure. L'eczéma est d'abord localisé aux mains et aux avant-bras puis secondairement au visage. Les tests épicutanés sont positifs au TGIC et à différents époxy-acrylates contenus dans des produits manipulés au travail, ainsi qu'à des composés de la batterie acrylates et de la batterie époxy (DGEBA, résine époxy cycloaliphatique).

Kanerva et al. rapportent un cas de dermatite de contact allergique aux acrylates chez une employée de fabrication de circuits imprimés [33]. Elle plastifie des plaques en résines époxy stratifiées recouvertes de cuivre avec une couche protectrice contenant des acrylates dont le triacrylate de triméthylolpropane (TMPTA). L'eczéma prédomine aux régions périorbitaires et est associé à une conjonctivite. Les tests épicutanés sont positifs au TMPTA. Du fait des récurrences rythmées par l'activité professionnelle, la salariée a dû changer de travail.

La publication de Jolanki et al. citée plus haut décrit une dermatite de contact allergique chez une employée de fabrication de circuits imprimés sensibilisée à des résines époxy et des acrylates d'encres photopolymérisables [29].

Skotnicki et Pratt [34] rapportent une dermatite de contact allergique aux acrylates d'encres photopolymérisables chez une employée de fabrication de disques durs d'ordinateurs. Elle présente un test épicutané positif au diacrylate de tripropylène-glycol (TRPGDA), substance mentionnée dans les fiches de données des produits manipulés au travail.

Kiec-Swierczynska et al. [35] rapportent une épidémie de sensibilisations aux acrylates dans une usine de fabrication de bobines électriques pour écrans de télévision. Le produit incriminé est une colle photopolymérisable contenant de l'acrylate d'isobornyle, de l'acide acrylique, du bis(2,6-diméthoxybenzoyl)(2,4,4-triméthylpentyl)phosphine oxyde et de l'acrylate de 2-carboxyéthyle. Le processus de collage est automatisé mais les employés contrôlent les pièces et effectuent le démontage des bobines manuellement avec des gants vinyle. Sur 81 employés

ayant manipulé cette colle pendant 4 ans, 21 (26 %) présentent une dermatite de contact professionnelle : dermatite de contact d'irritation dans 12 cas et dermatite de contact allergique confirmée par la positivité des tests dans 9 cas. Les principaux allergènes positifs de la batterie acrylates sont le diacrylate de triéthylène-glycol et le diacrylate de diéthylène-glycol. Les lésions sont surtout des pulpites hyperkératosiques et fissuraires.

#### ● Résines polyuréthanes

Récemment Aalto-Korte et al. rapportent des tests positifs au MDA chez 3 employés du secteur de l'électronique (tableau I, page suivante) [36].

Liippo et al. [26], en Finlande, rapportent 3 cas de tests épicutanés positifs aux isocyanates chez des employés de l'électronique. Le test au 2,4-diisocyanate de toluylène (TDI) est positif chez tous les 3, l'un des patients a également un test positif au diisocyanate d'isophorone (IPDI). Les produits suspectés sont des colles. L'eczéma est localisé au visage dans 2 cas et aux mains dans 1 cas.

#### ● Autres résines

Des tests positifs aux résines phénol-formaldéhyde et mélamine-formaldéhyde ont été exceptionnellement rapportés dans le secteur de l'électronique [4]. La pertinence des tests et les produits manipulés ne sont pas précisés.

Xuemin et al. [28] rapportent 2 cas de tests épicutanés positifs à la résine p-tert-butylphénol formaldéhyde de la batterie standard chez 17 employés d'une entreprise de fabrication d'équipements électriques ayant un eczéma. La pertinence et les produits manipulés pouvant contenir cet allergène ne sont pas précisés.

↓ Tableau I

### > TESTS POSITIFS AU MDA CHEZ 3 EMPLOYÉS DU SECTEUR DE L'ÉLECTRONIQUE (D'APRÈS AALTO-KORTE ET AL. [36]).

Patient	Métier	Sources d'exposition	Test positif	Localisation de l'eczéma
1	Opérateur de fabrication de circuits imprimés	Laque de protection pour circuits imprimés	* MDA	Paupières
2	Ingénieur en électronique	Production de matériel d'isolation en polyuréthanes	MDA	Avant-bras
3	Ingénieur en électronique	Durcisseur pour moulage	MDA	Tronc, visage, poignets

\* MDA : 4,4'-diaminodiphénylméthane.

#### Flux de soudure

Le soudage par brasage tendre est un procédé couramment utilisé (photo 4). Il consiste en l'assemblage de deux métaux à l'aide d'un alliage d'étain et de plomb à basse température de fusion. Le soudage permet de fixer les composants sur le support et d'établir des connexions.

Le flux de soudage sert à décapier les surfaces à assembler. Les flux de soudage peuvent contenir comme allergènes de la colophane, des composés de l'hydrazine et des amines [N-(2-aminoéthyl)éthanolamine] [17]. Les cas ont été rapportés dans la soudure manuelle et la soudure à la vague.

La colophane est une cause fréquemment citée de dermatite de contact allergique dans le secteur de l'électronique. La majorité des cas ont été rapportés dans les années 80 [37 à 40]. Plus récemment en Chine, en 2004, une équipe de Pékin en rapporte 2 cas ayant un eczéma des mains et des tests positifs à la colophane [41].

Les allergènes de la colophane non modifiée les plus fréquemment mis en cause sont les produits d'oxydation (hydroperoxydes, peroxydes, époxydes et cétones) des

acides abiétique et déhydroabiétique [42].

De plus rares cas anciens de dermatite de contact allergique au chlorhydrate d'hydrazine ou à la N-(2-aminoéthyl)éthanolamine de flux de soudure ont été rapportés [43, 44].

En 1985, Goh rapporte un cas d'eczéma localisé aux zones périunguëales plus ou moins étendu aux mains, poignets et avant-bras chez 4 employés effectuant du soudage pour assembler des circuits imprimés [45]. Les tests épicutanés sont positifs à la N-(2-aminoéthyl)éthanolamine à 5 % (vaseline).

#### ● Autres

Les additifs du caoutchouc des gants et équipements de protection individuelle portés au travail sont également une cause non négligeable de dermatite de contact allergique dans le secteur de l'électronique [4, 46, 47].

Un cas de dermatite de contact allergique à la dibutylthiourée présente dans le revêtement de cartes téléphoniques est rapporté par Schmid-Grendelmeier et Elsner [48]. Les tests épicutanés sont positifs pour la carte

téléphonique, le produit de revêtement de la carte (dilutions 1 %, 5 % et 10 %) et l'un de ses composants, la dibutylthiourée (1 % dans la vaseline).

#### Allergènes responsables d'urticaire de contact

Helaskoski et al. rapportent 21 cas d'urticaire de contact aux durcisseurs de résines époxy de type anhydrides d'acides cycliques vus au FIOH (*Finnish Institute of Occupational Health*) [49]. L'association de l'urticaire à une rhinite ou un asthme est fréquente dans cette série (18/21). Dans 12 cas, il s'agit d'employés de fabrication d'appareils électriques et dans 2 cas d'employés de l'électronique. La cause de l'urticaire est l'anhydride méthylhexahydrophthalique (MHHPA) pour le premier patient et l'anhydride méthyltétrahydrophthalique (MTHPA) pour le deuxième.

Yokota et al. au Japon [50] rapportent également un cas d'urticaire de contact aux durcisseurs de résines époxy de type anhydrides d'acides cycliques chez une employée de fabrication de circuits imprimés confirmée par la positivité du test cutané à lecture immédiate avec le MHHPA (test non dilué sous occlusion pendant 20 minutes, 5 sujets témoins négatifs).

De rares cas d'urticaire de contact à la colophane de flux de soudure ont été rapportés alors que la colophane est une cause fréquemment rapportée d'asthme professionnel [51]. Bourrain [52] en 1998 (cité par Cleenerck [16]) rapporte un cas chez une opératrice exposée à la colophane de soudure pour le montage de cartes électroniques. Les prick-tests sont positifs à la colophane et à l'acide abiétique. Un autre cas est décrit par Rivers et Rycroft chez un contrôleur de sou-





Photo 4 : Dermatitis d'irritation traumatique chez un technicien de l'industrie électronique liée au sablage de tubes électroniques avec projections de jets de sable.

dage de circuits imprimés associé à une crise d'asthme [53].

## ÉPIDÉMIOLOGIE

### PRÉVALENCE ET INCIDENCE

La plupart des études épidémiologiques répertorient l'électronique comme un secteur à risque de dermatites de contact professionnelles proviennent d'Asie.

Lim et Goon analysent 125 patients ayant une dermatite de contact professionnelle diagnostiquée sur la période 2003-2004 à Singapour [54]. Le secteur de l'électronique est responsable de 4,8 % des cas.

Tan et al. [4] rapportent l'analyse des résultats obtenus chez 149 employés de l'électronique explorés pour dermatose professionnelle à Singapour sur 633 patients (prévalence de 23,5 %) pendant la période 1990-1995. Dans la majorité des cas (137/149), il s'agit de dermatites de contact d'irritation chez 76 patients et allergiques chez 61 patients. Dans les autres cas, il s'agit d'exacerbations de dermatite atopique, de dermatites traumatiques<sup>(1)</sup> par friction, d'éruptions miliaires et un cas fatal de nécrolyse épidermique

(1) Les dermatites dues à des irritations mécaniques, notamment par frictions répétées de la peau pouvant provoquer des lésions au site de friction avec hyperkératose, plaques bien limitées, prurit et fissures douloureuses

toxique induite par le TCE. Plus de la moitié des patients ont moins de 30 ans (67,2 %). Dans cette étude, les professionnels jeunes et moins expérimentés semblent être un groupe à risque.

Dans une autre étude réalisée toujours à Singapour entre 1989 et 1998, le secteur de l'électronique est le troisième secteur le plus à risque de dermatite de contact professionnelle après la métallurgie et la construction avec une prévalence de 15,9 % (153 cas sur 965) [47]. La dermatite de contact d'irritation est plus fréquente que la dermatite de contact allergique (88 cas vs 58).

À Taiwan, dans une étude sur la période 1978-1995, l'électronique est le secteur le plus à risque de dermatite de contact professionnelle avec une prévalence de 69 cas sur 442 [46].

Shiao et al. [18] ont évalué la prévalence et les caractéristiques des dermatites de contact dans 5 entreprises du secteur de l'électronique à Taiwan dans une étude par questionnaire. Avec un taux de réponse de 93 %, ce sont 3 070 sujets qui ont répondu au questionnaire. Des symptômes cutanés compatibles avec le diagnostic d'eczéma des mains sont rapportés par 302 salariés (9,8 %). Les auteurs estiment la prévalence des dermatites de contact dans le secteur de l'électronique à 3-4 %.

En Europe, le réseau EPIDERM de surveillance des dermatoses professionnelles par les dermatologues de Grande-Bretagne rapporte une moyenne de 21 cas de dermatoses professionnelles par an chez les assembleurs (de produits électriques) entre 2006 et 2008. L'incidence est évaluée à 49 cas pour 100 000 travailleurs par an [1].

### PRINCIPALES CAUSES

Dans l'étude de Goon et Goh à Singapour [47], les principaux facteurs incriminés sont, par ordre décroissant : pour les irritants, les solvants, les flux de soudure, les huiles solubles, les fibres de verre et les frottements mécaniques ; pour les allergènes, les résines époxy et acrylates, les additifs du caoutchouc, le nickel, le chrome et la colophane.

Dans l'analyse par Tan et al. [4] réalisée chez 149 employés de l'électronique explorés pour dermatoses professionnelles à Singapour entre 1990 et 1995, les principaux irritants sont les solvants (alcools, fréons, TCE, toluène : 26 %), les flux de soudure (22,4 %), les huiles et fluides de coupe (21,6 %) et les fibres de verre (13 %). Les irritants suivants sont plus rarement incriminés : acides et bases, eau, détergents, isocyanates, poudre de LCD (*liquid crystal display*). Les allergènes les plus fréquemment positifs dans cette étude sont les métaux (nickel, cobalt : 32,8 %), les résines (26,2 %), les additifs du caoutchouc (16,5 %) et le flux de soudure (colophane, N-(2-aminoéthyl)éthanolamine : 16,5 %). Parmi les 16 cas (26,2 %) de tests positifs aux résines, les résines époxy et les acrylates sont les plus incriminés (9 et 4 cas respectivement). Plus rarement, d'autres allergènes ou produits ont été incriminés : huiles, agent de polymérisation, encre, dichromate de potassium, doublure de gant plastique. Les auteurs ne précisent pas la substance chimique incriminée dans les produits retrouvés positifs en tests.

Dans l'étude de Shiao et al. [18], 183 employés du secteur de l'électronique à Taiwan sont examinés et testés par tests épicutanés. Plus de la moitié rapportent des symptômes cutanés dus aux fibres de verre surtout lors d'activité de découpage des circuits imprimés

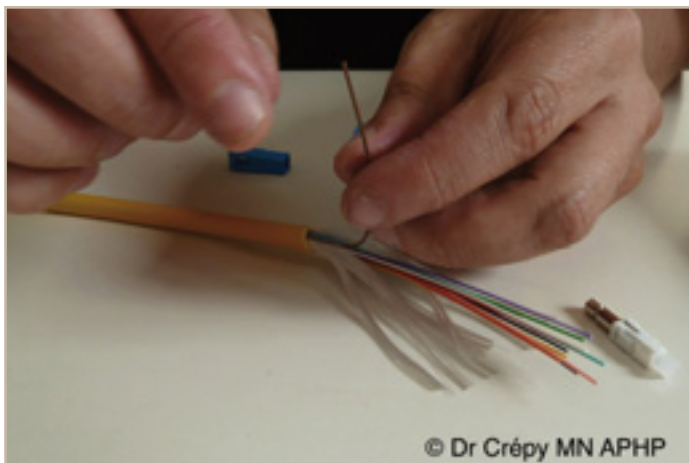


Photo 5 : Technicien optoélectronique manipulant des fibres optiques.

avec exposition aux poussières. L'examen au microscope de la poussière présente au poste de travail, sur la peau et les vêtements des employés montre la présence de spicules de fibres de verre. Les principaux allergènes incriminés sont le nickel (16,4 %), le cobalt (9,8 %) et la p-phénylènediamine ou PPD (4,4 %). La positivité du test à la PPD est liée pour les auteurs à l'exposition aux colorants lors de l'impression. Le taux de sensibilisation au nickel est 4 à 5 fois plus élevé par rapport à un groupe témoin. La cause identifiée est le port de bracelet antistatique obligatoire pour les employés travaillant sur les circuits imprimés. Les dosages dans le bracelet ont confirmé la présence de nickel. Les catégories de poste de travail les plus à risque dans cette étude sont : le collage des plaquettes, la découpe, l'impression/photolithographie, l'imprégnation et l'étamage.

Dans l'étude de Sun et al. à Taïwan[46], les principaux allergènes positifs en tests épicutanés, par ordre décroissant, sont le nickel, les résines époxy, le cobalt, le chrome, les dérivés mercuriels, les thiurames du caoutchouc, les par-

fums, la colophane et le formaldéhyde. Leur pertinence n'est pas précisée.

Su et al. [14] ont comparé 2 groupes d'employés travaillant dans la fabrication d'écrans à cristaux liquides selon le procédé TFT-LCD (*thin film transistor-liquid crystal display*), secteur qui s'est rapidement développé à Taïwan. Le premier groupe comprend 2 241 employés de salles blanches comparé à un groupe témoin de 913 employés ne travaillant pas en salle blanche. Le groupe travaillant en salle blanche présente une prévalence plus élevée de sécheresse oculaire (35,3 % vs 22,1 %), de sécheresse cutanée avec prurit, desquamation et fissures (19,7 % vs 12,9 %), et de sécheresse du nez et de la gorge (16,7 % vs 8,5 %).

### Résines époxy

Récemment Bangsgaard et al. [55] évaluent la prévalence de tests épicutanés positifs aux résines époxy à 1,3 % chez 20 808 patients testés pour eczéma entre 2005 et 2009 au Danemark. Les patients ayant un test positif aux résines époxy ont été interrogés par questionnaire (taux de réponse de 71 %). Les

sources professionnelles les plus fréquemment incriminées sont les colles, les peintures et les produits de revêtement. Les produits électroniques ne sont incriminés que dans 5,4 % des cas (photo 5).

Majasuo et al. [56] retrouvent une prévalence de tests épicutanés positifs aux résines époxy de 59 cas sur 6 042 patients testés pour eczéma sur la période 2000–2010. La cause est professionnelle chez 38 patients (65 %) dont 5 employés du secteur de l'électronique.

Tosti et al. [23] détectent, entre 1984 et 1992, 39 cas de dermatites de contact allergique professionnelle aux résines époxy dont 18 chez des employés de l'électronique.

Helaskoski et al. rapportent 21 cas d'urticaire de contact aux durcisseurs de résines époxy de type anhydrides d'acides cycliques vus au FIOH entre 1990 et 2006. Les employés de fabrication d'appareils électriques sont la profession la plus fréquemment rencontrée (12 cas), dans 2 cas il s'agit d'employés de l'électronique [49].

### Isocyanates

Liippo et al. [26] ont analysé les cas de tests épicutanés positifs aux isocyanates entre 1997 et 2007 en Finlande. Le TDI a une prévalence de tests positifs de 1 % (10 sur 1 023 patients testés). Dans 3 cas il s'agit d'employés de l'électronique, la cause suspectée étant les colles.

Parmi les 55 patients vus au FIOH entre 1998 et 2010 avec des tests positifs aux isocyanates (diisocyanate de diphenylméthane, diisocyanate de toluène, diisocyanate de 1,6-hexaméthylène, diisocyanate d'isophorone et phénylisocyanate), les professions les plus représentées sont l'automobile, l'électronique et la fabrication de peintures polyuréthanes [36].

### Cas particulier des éruptions généralisées type toxidermies au trichloroéthylène (TCE)

Plus de 300 cas d'éruptions généralisées type toxidermies liées à l'exposition au TCE ont été rapportées, principalement en Asie [6]. L'incidence des manifestations graves (nécrolyse épidermique toxique et syndrome d'hypersensibilité) est inférieure à 1-13 % des travailleurs exposés [57]. La mortalité reste importante : 13 % pour la nécrolyse épidermique toxique et 9 % pour le syndrome d'hypersensibilité type DRESS [57].

Les données varient selon les classifications utilisées par les auteurs. Dans une étude cas-témoins réalisée entre 1999 et 2007 [58], Dai et al. comparent 111 patients ayant une éruption généralisée induite par le TCE à 154 sujets sains également exposés professionnellement à ce solvant. Les patients et le groupe témoin travaillent dans des entreprises d'électronique et de revêtement métallique dans la province chinoise de Guangdong, ils utilisent le TCE pour le nettoyage et le dégraissage des métaux. Les concentrations atmosphériques de TCE aux postes de travail varient entre 69 et 790 ppm (médiane de 90 ppm). L'éruption apparaît dans tous les cas dans les 3 mois après le début d'exposition, localisée aux mains et avant-bras avec extension généralisée par la suite. Les diagnostics dermatologiques retenus sont une dermatite exfoliante chez 75 patients, un érythème polymorphe chez 33 patients et une nécrolyse épidermique toxique chez 3 patients.

Dans une revue systématique de la littérature jusqu'en 2005, Kamijima et al. retrouvent 260 cas d'éruptions généralisées type toxidermies liées à l'exposition au TCE

[57]. Ils les classent en 2 grandes catégories : 115 cas dans le groupe érythème polymorphe / syndrome de Stevens-Johnson / nécrolyse épidermique toxique et 124 cas dans le groupe syndrome d'hypersensibilité ; 21 cas n'ont pu être classés dans ces 2 groupes. Les taux de mortalité de la nécrolyse épidermique toxique et du syndrome d'hypersensibilité induits par le trichloroéthylène sont de 13 % et de 9 % respectivement.

Watanabe [6] compare la fréquence des symptômes entre le syndrome d'hypersensibilité induit par le TCE et le DRESS induit par les médicaments :

- dans les 2 cas, l'éruption débute 2 à 6 semaines après l'exposition ;
- la fièvre élevée est moins constante que dans le DRESS médicamenteux (73-86 % vs 100 %) ;
- l'hyperéosinophilie est moins fréquente (23 % vs 70 %) ;
- l'atteinte hépatique est variable selon les séries (46-94 % vs 96,8 %) ;
- dans les 2 cas, il existe un taux de mortalité non négligeable (9 % vs 10-20 %).

Les tests épicutanés sont inconstamment positifs au TCE et/ou à ses métabolites (trichloroéthanol, acide trichloracétique et hydrate de chloral) [6].

## DIAGNOSTIC EN MILIEU DE TRAVAIL

### DERMATITE DE CONTACT D'IRRITATION

Elle peut revêtir plusieurs aspects suivant le type d'activité et les conditions de travail, allant d'une simple xérose à des brûlures.

Dans la forme aiguë, les lésions sont d'apparition rapide, limitées aux zones de contact avec l'agent causal, de type érythémato-cédé-

mateux et s'accompagnent parfois de vésicules ou de bulles.

La dermatite de contact d'irritation chronique se présente généralement sous la forme de lésions érythémato-squameuses, parfois fissuraires, avec sensation de brûlures ou de picotements, principalement sur le dos des mains et les espaces interdigitaux. L'atteinte de la pulpe des doigts et de la zone sous les bagues est aussi fréquente ainsi que l'aggravation pendant l'hiver. La disparition des empreintes digitales est parfois observée. Le visage peut être atteint, notamment lors de projections ou d'utilisation de produits volatils (solvants, flux de soudure...).

### Les brûlures à l'acide fluorhydrique

L'acide fluorhydrique entraîne des brûlures chimiques avec nécrose importante et douleurs sévères. Leurs caractéristiques dépendent de la concentration de la solution et du temps de contact. L'évolution se fait en 2 temps : nécrose de coagulation rapidement extensive, puis destruction tissulaire retardée par pénétration de l'acide fluorhydrique dans les tissus profonds. Les effets sont peu marqués en surface mais très importants en profondeur. Ils sont dus à la toxicité des ions fluorures. La sensation de brûlure apparaît d'autant plus tardivement que la solution est diluée. En fonction de l'intensité des lésions, on peut observer érythème, œdème, vésicules et bulles hémorragiques, blanchiment de la peau pouvant évoluer vers la nécrose en l'absence de traitement.

### La dermatite aux fibres de verre

Cette entité est définie sur les éléments suivants [13] :

- le début des symptômes apparaît le même jour que la manipulation

de circuits imprimés ;

- les symptômes s'améliorent pendant les congés ;
- les symptômes sont identiques chez d'autres collègues ;
- à l'examen microscopique, les fibres prélevées à la surface de la peau sont identiques à celles obtenues par grattage des bords des circuits imprimés utilisés au poste de travail ou analyse de la poussière collectée sur le lieu de travail ;
- une absence de sensibilisation aux allergènes professionnels est constatée.

Dans l'étude de Hsieh [13], les principales manifestations, par ordre décroissant de fréquence, sont un prurit, des papules, un érythème, des vésicules, une desquamation et des lésions de grattage. Les lésions prédominent sur le dos des mains et les avant-bras. Le visage est plus rarement atteint.

### DERMATITE DE CONTACT ALLERGIQUE

Sur le plan clinique, l'aspect des dermatites de contact allergique est très proche des dermatites de contact d'irritation. Certains signes sont plutôt en faveur d'une dermatite de contact allergique comme un prurit intense, une extension des lésions au-delà de la zone de contact, voire à distance, un aspect polymorphe associant érythème, vésicules, suintement, desquamation, croûtes.

Actuellement, le diagnostic de dermatite de contact allergique repose sur l'association d'un aspect clinique évocateur et de tests cutanés positifs et pertinents avec l'exposition du patient.

La localisation dépend des allergènes (propriétés volatiles...), des voies d'exposition, du port ou non d'équipements de protection individuelle. Les principales localisations sont les mains et le visage,

notamment pour les produits volatils (résines époxy, colophane du flux de soudure).

### CAS PARTICULIER DES ÉRUPTIONS GÉNÉRALISÉES TYPE TOXIDERMIES AU TRICHLOROÉTHYLÈNE (TCE)

Les éruptions généralisées type toxidermies liées à l'exposition au TCE sont classées en 2 grands types : nécrolyse épidermique toxique (TEN) et syndrome d'hypersensibilité se rapprochant du DRESS (*drug rash with eosinophilia and systemic symptoms*) [6].

L'éruption apparaît 2 semaines à 2 mois après le début de l'exposition au TCE au poste de travail. Elle se manifeste par un rash touchant les extrémités, le visage, le cou et le tronc, plus ou moins associé à de la fièvre.

La nécrolyse épidermique toxique (TEN) inclut les syndromes de Stevens-Johnson (SJS) et de Lyell. Elle est caractérisée par la destruction brutale de la couche superficielle de la peau et des muqueuses. Cliniquement, elle associe des signes cutanéomuqueux dans un contexte de douleurs majeures et parfois de la fièvre (dans 8 % des cas dus au TCE). Les lésions peuvent être violacées, purpuriques, avec vésicules, bulles ou « cocardes » atypiques, érosions muqueuses multifocales, avec signe de Nikolsky positif (décollement de l'épiderme sous la pression du doigt). La classification dépend de la surface corporelle maximale atteinte par les lésions bulleuses ou érosives : < 10 % pour le syndrome de Stevens-Johnson ; de 10 à 29 % pour les formes de transition ≥ 30 % pour le syndrome de Lyell. L'atteinte hépatique est très fréquente (92 à 94 % des cas) [57].

Le syndrome d'hypersensibilité induit par le TCE présente des similitudes avec le DRESS [6].

En ce qui concerne les lésions cuta-

nées, l'éruption débute sur le visage, le haut du tronc et la partie supérieure des extrémités et s'étend à la partie inférieure du corps dans un second temps ; elle peut être purpurique. Ses formes cliniques sont diverses :

- atteinte du visage : œdème, desquamation et croûtes particulièrement sur les ailes du nez et le pourtour des lèvres ; érythème diffus sauf autour des yeux ;
- rash généralisé exfoliant sévère, auquel peut s'ajouter ou non une érythrodermie ;
- parfois lésions d'érythème polymorphe ;
- vésicules, particulièrement sur les avant-bras ;
- pustules stériles centrées par des follicules ;
- atteinte oculaire et orale dans de rares cas, moins sévère que dans le syndrome de Stevens-Johnson / nécrolyse épidermique toxique.

Les lésions cutanées s'accompagnent d'autres signes :

- fièvre élevée ;
- lymphadénopathies ;
- hyperéosinophilie ;
- atteinte hépatique.

### DIAGNOSTIC EN MILIEU SPÉCIALISÉ

#### EXPLORATION D'UNE DERMATITE DE CONTACT ALLERGIQUE

##### Tests épicutanés

La pratique des tests épicutanés est la méthode de référence pour identifier les allergènes responsables de la dermatite de contact allergique, à condition qu'ils ne soient pas irritants.

Ils comprennent la batterie standard européenne recommandée par l'*European Contact Dermatitis Research Group* (ECDRG) et, selon l'activité professionnelle, les bat-

teries de tests spécialisés (batterie époxy, batterie acrylates, batterie plastiques-colles, batterie caoutchouc, batterie métaux...) et les tests avec les produits professionnels dont la composition est connue.

### Tests semi-ouverts

Ils sont particulièrement indiqués pour tester les produits auxquels le patient est en contact cutané direct dont on suspecte un certain pouvoir irritant (produits industriels comme les colles, encres, vernis...). Néanmoins, il faut connaître la composition du produit et mesurer le pH avant de faire ce test. Tout produit ayant un fort potentiel irritant (pH < 3 ou > 10) ou toxique, employé normalement avec des équipements de protection individuelle ou sans contact cutané, ne doit pas être testé [59].

### EXPLORATION D'UNE URTICAIRE DE CONTACT

Dans l'étude de Helaskoski et al. [49] sur les 21 cas d'urticaire de contact aux durcisseurs de résines époxy de type anhydrides d'acides cycliques vus au FIOH, le bilan allergologique comprenant des prick-tests, des test ouverts et un dosage des IgE spécifiques est détaillé.

Les anhydrides suivants sont testés par prick-tests : anhydride phtalique (PA), anhydride maléique (MA), anhydride trimellitique (TMA), MHHPA, anhydride hexahydrophthalique (HHPA) et anhydride chlrendique (CA). Le MTHPA n'est plus testé dans leur service depuis plusieurs années du fait de réactions croisées constantes avec les autres anhydrides d'acides et de son coût. Un prick-test est considéré comme positif si le diamètre de la réaction mesure au moins 3 mm et au moins la moitié de la taille du témoin positif.

Le dosage des IgE d'anhydrides d'acides est fait par des tests uni-

taires ImmunoCAP® (Phadia AB, Suède).

Chez les patients ayant un prick-test positif aux anhydrides d'acides, le diagnostic est confirmé par un test ouvert avec la substance utilisée pour le prick-test ou avec le produit professionnel incriminé. En cas de test ouvert avec le produit professionnel, il est d'abord testé dilué dans la vaseline (1 % et 10 %) puis tel quel en cas de négativité. Le véhicule du test est également appliqué comme témoin. La substance est appliquée avec un coton-tige sur une surface de 5 X 5 cm sur la peau saine de l'avant-bras. La lecture est faite à 20 minutes. Une deuxième application est faite avec une seconde lecture encore 20 minutes après. Le test ouvert est considéré comme positif s'il provoque des papules urticariennes alors que les tests témoins sont négatifs.

Pour les auteurs, le test ouvert avec le produit professionnel reproduit les conditions d'usage et d'exposition au travail.

### PRONOSTIC

Le pronostic est variable suivant les causes de la dermatite de contact et la possibilité de mise en place d'une prévention.

En cas d'urticaire aux anhydrides d'acides, les patients doivent changer de poste de travail du fait du risque de développer un asthme professionnel [49].

### PRÉVENTION

#### PRÉVENTION COLLECTIVE

La prévention collective est indispensable et doit être envisagée avant toute mesure de prévention individuelle. Elle comprend plusieurs mesures :

- identification des agents irri-

tants et sensibilisants et des activités exposant au contact cutané direct, manuporté ou aéroporté avec ceux-ci, notamment lors de la visite et l'analyse du poste de travail ;

- automatisation des opérations quand elle est possible, utilisation préférentielle de procédés de travail en circuit fermé ou en vase clos ;

- substitution des produits les plus toxiques (solvants halogénés comme le TCE), des irritants puissants et des sensibilisants par des substances de moindre risque ; selon les activités et les produits, cette mesure peut être difficile à mettre en place en milieu de travail ;

- ventilation générale des locaux, aspirations efficaces aux postes de travail exposant à des irritants ou allergènes volatils ;

- respect des précautions spécifiques de stockage pour les produits manipulés, en particulier l'acide fluorhydrique (récipients hermétiquement fermés et correctement étiquetés) [60].

- information du personnel sur les risques cutanés liés à l'utilisation des produits contenant des substances irritantes ou corrosives (acides forts) ou des allergènes et formation sur les moyens de prévention à utiliser.

#### PRÉVENTION INDIVIDUELLE

De manière générale, la prévention de la dermatite de contact allergique nécessite de lutter contre la dermatite d'irritation de contact qui favorise la sensibilisation, en réduisant au maximum tous les facteurs irritants, qu'ils soient d'origine chimique ou physique.

Après une analyse des risques à chaque poste de travail, il convient de choisir le type de gants (matériau, épaisseur, longueur des manchettes) adapté à l'activité et aux

produits manipulés [61].

Pour les activités avec risque d'exposition à l'acide fluorhydrique par exemple, il est nécessaire de porter des équipements de protection individuelle adaptés : gants en butyle, néoprène ou matériaux multicouches [61], écrans de protection, appareil de protection respiratoire équipé de filtre BEP3, vêtements et bottes antiacides [62].

### PRÉVENTION MÉDICALE

La prévention médicale des dermatoses professionnelles repose essentiellement sur la réduction maximale du contact cutané avec les irritants et l'éviction complète du contact cutané avec les allergènes auxquels le patient est sensibilisé.

Dans le cas particulier de l'acide fluorhydrique, du fait de la gravité potentielle des brûlures accidentelles, un protocole de premiers secours doit être rédigé, sur la base des éléments fournis par la fiche toxicologique « Fluorure d'hydrogène et solutions aqueuses » [60].

### RÉPARATION

Les lésions eczématiformes de mécanisme allergique peuvent être prises en charge au titre du tableau n° 65 « *Lésions eczématiformes de mécanisme allergique* » des maladies professionnelles du régime général de la Sécurité sociale, pour les substances suivantes :

- acrylates et méthacrylates,
- résines dérivées du p-tert-butylphénol et du p-tert-butylcatéchol,
- dérivés de la thiourée,
- colophane.

D'autres tableaux du régime général de la Sécurité sociale peuvent être applicables :

- n° 10 « *Ulcérations et dermatites provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alca-*

*lins, le chromate de zinc et le sulfate de chrome* », pour les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition ou confirmées par un test épicutané ;

- n° 15 bis « *Affections de mécanisme allergique provoquées par les amines aromatiques, leurs sels, leurs dérivés notamment hydroxylés, halogénés, nitrés, nitrosés, sulfonés et les produits qui en contiennent à l'état libre* », pour les dermatites irritatives et les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmées par un test épicutané ;

- n° 32 « *Affections professionnelles provoquées par le fluor, l'acide fluorhydrique et ses sels minéraux* », pour les manifestations locales aiguës : dermatites, brûlures chimiques ;

- n° 37 « *Affections cutanées professionnelles causées par les oxydes et les sels de nickel* », pour les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmées par un test épicutané ;

- n° 49 « *Affections cutanées provoquées par les amines aliphatiques, alicycliques ou les éthanolamines* », pour les dermatites eczématiformes confirmées par des tests épicutané-

nés ou par la récurrence à une nouvelle exposition ;

- n° 51 « *Maladies professionnelles provoquées par les résines époxydiques et leurs constituants* », pour les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmées par un test épicutané ;

- n° 62 « *Affections professionnelles provoquées par les isocyanates organiques* », pour les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmées par un test épicutané ;

- n° 84 « *Affections engendrées par les solvants organiques liquides à usage professionnel* » pour les dermatites irritatives et pour les lésions eczématiformes récidivant en cas de nouvelle exposition au risque ou confirmées par un test épicutané.

Tous ces tableaux sont consultables en ligne sur le site de l'INRS [63].

Les brûlures caustiques peuvent être déclarées en accidents de travail.

**L'auteur tient à remercier J.C. Hertzog, ingénieur dans l'entreprise MBDA, pour son aide technique.**

### POINTS À RETENIR

● **Les activités de nettoyage, réparation et maintenance sont particulièrement à risque d'exposition cutanée aux irritants et allergènes.**

● **Il existe un risque non négligeable d'accidents par brûlure thermique ou chimique avec des bases et acides forts, notamment l'acide fluorhydrique.**

● **Les principaux irritants sont chimiques (solvants, acides et bases, flux de soudure) et physiques (fibres de verre, taux d'humidité bas).**

● **Les principaux allergènes sont les métaux, les flux de soudure et les résines.**

● **Les cas d'urticaire de contact sont exceptionnels (anhydrides d'acides cycliques).**

● **L'exposition au trichloroéthylène peut provoquer des réactions sévères comparables aux toxidermies médicamenteuses : syndrome de Stevens-Johnson/nécrolyse épidermique toxique (SJS/TEN) et syndrome d'hypersensibilité ressemblant au DRESS (*drug rash with eosinophilia and systemic symptoms*).**

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | SMITH V, ENGLISH JSC - The electronics Industry. In: Rustemeyer T, Elsner SM, John SM, Maibach HI (Eds) - Kanerva's occupational dermatology. 2nd edition. Heidelberg : Springer-Verlag ; 2012 : 661-74, 2019 p.
- 2 | L'industrie de la microélectronique et des semi-conducteurs. Encyclopédie de sécurité et de santé au travail. Chapitre 83. In: Volume III. Partie XIII. Industries manufacturières. Organisation Internationale du Travail, 2000-2004 ([www.ilo.org/safework\\_bookshelf/french?d&nd=170000102&nh=0](http://www.ilo.org/safework_bookshelf/french?d&nd=170000102&nh=0)).
- 3 | LECLERC MT, ZIMMERMANN F, CHOLLOT A, SILVENTE E - Risques chimiques dans les filières de traitement des DEEE. *Environ Risques Santé*. 2012 ; 11 (5) : 378-96.
- 4 | TAN HH, TSU-LI CHAN M, GOH CL - Occupational skin disease in workers from the electronics industry in Singapore. *Am J Contact Derm*. 1997 ; 8 (4) : 210-14.
- 5 | BONNARD N, BRONDEAU MT, JARGOT D, LAFON D ET AL. - Trichloroéthylène. Fiche toxicologique FT 22. Paris : INRS ; 2011 : 12 p.
- 6 | WATANABE H - Hypersensitivity syndrome due to trichloroethylene exposure: a severe generalized skin reaction resembling drug-induced hypersensitivity syndrome. *J Dermatol*. 2011 ; 38 (3) : 229-35.
- 7 | LI H, DAI Y, HUANG H, LI L ET AL. - HLA-B\*1301 as a biomarker for genetic susceptibility to hypersensitivity dermatitis induced by trichloroethylene among workers in China. *Environ Health Perspect*. 2007 ; 115 (11) : 1553-56.
- 8 | XU X, YANG R, WU N, ZHONG P ET AL. - Severe hypersensitivity dermatitis and liver dysfunction induced by occupational exposure to trichloroethylene. *Ind Health*. 2009 ; 47 (2) : 107-12.
- 9 | OHATA U, HARA H, SUZUKI H - 7 cases of hydrofluoric acid burn in which calcium gluconate was effective for relief of severe pain. *Contact Dermatitis*. 2005 ; 52 (3) : 133-37.
- 10 | EDELMAN P - Hydrofluoric acid burns. *Occup Med*. 1986 ; 1 (1) : 89-103.
- 11 | TSAI WT - Environmental and health risks of chlorine trifluoride (ClF<sub>3</sub>), an alternative to potent greenhouse gases in the semiconductor industry. *J Hazard Mater*. 2011 ; 190 (1-3) : 1-7.
- 12 | YOKOTA K, MICHITSUI H - Occupational allergic contact dermatitis from 1,6-bis (2,3-epoxypropoxy) naphthalene in a one-component epoxy coating. *Contact Dermatitis*. 2004 ; 51 (3) : 154-55.
- 13 | HSIEH MY, GUO YL, SHIAO JS, SHEU HM - Morphology of glass fibers in electronics workers with fiberglass dermatitis. A scanning electron microscopy study. *Int J Dermatol*. 2001 ; 40 (4) : 258-68.
- 14 | SU SB, WANG BJ, TAI C, CHANG HF ET AL. - Higher prevalence of dry symptoms in skin, eyes, nose and throat among workers in clean rooms with moderate humidity. *J Occup Health*. 2009 ; 51(4) : 364-69.
- 15 | RISCHITELLI G - Dermatitis in a printed-circuit board manufacturing facility. *Contact Dermatitis*. 2005 ; 52 (2) : 78-81.
- 16 | CLEENWERCK MB - Quels allergènes en électronique ? In: Groupe d'études et de recherches en dermato-allergologie (GERDA) - Progrès en Dermato-Allergologie. Tome 6. Paris, 2000. Montrouge : John Libbey Eurotext ; 2000 : 245-72, 312 p.
- 17 | KOH D - Occupational dermatitis-what's new? Electronics industry. *Clin Dermatol*. 1997 ; 15 (4) : 579-86.
- 18 | SHIAO JS, SHEU HM, CHEN CJ, TSAI PJ ET AL. - Prevalence and risk factors of occupational hand dermatoses in electronics workers. *Toxicol Ind Health*. 2004 ; 20 (1-5) : 1-7.
- 19 | STEVENSON CJ, MORGAN PR - Investigation and prevention of chromate dermatitis in colour television manufacture. *J Soc Occup Med*. 1983 ; 33 (1) : 19-20.
- 20 | SINCLAIR S, HINDSON C - Chromate in colour television tube manufacture. *Contact Dermatitis*. 1989 ; 21 (5) : 353.
- 21 | ALI SA - Occupational dermatitis in the manufacture of color television tubes. *Am J Contact Dermat*. 1997 ; 8 (4) : 222-24.
- 22 | CRÉPY MN - Dermatoses professionnelles allergiques aux métaux. Quatrième partie : allergie de contact aux autres métaux. Fiche d'allergologie-dermatologie professionnelle TA 90. *Documents pour le Médecin du Travail*. Paris : INRS ; 2011 : 21 p.
- 23 | TOSTI A, GUERRA L, VINCENZI C, PELUSO AM - Occupational skin hazards from synthetic plastics. *Toxicol Ind Health*. 1993 ; 9 (3) : 493-502.
- 24 | LEOW YH, NG SK, WONG WK, GOH CL - Allergic contact dermatitis from epoxy resin in Singapore. *Contact Dermatitis*. 1995 ; 33 (5) : 355-56.
- 25 | BRUZE M, ALMGREN G - Occupational dermatoses in workers exposed to epoxy-impregnated fiberglass fabric. *Derm Beruf Umwelt*. 1989 ; 37 (5) : 171-76.
- 26 | LIIPPO J, LAMMINTAUSTA K - Contact sensitization to 4,4'-diaminodiphenylmethane and to isocyanates among general dermatology patients. *Contact Dermatitis*. 2008 ; 59 (2) : 109-14.
- 27 | TOSTI A, GUERRA L, TONI F - Occupational airborne contact dermatitis due to epoxy resin. *Contact Dermatitis*. 1988 ; 19 (3) : 220-22.
- 28 | WANG X, LIN Y, CHEN X, YE M - 17 cases of epoxy resin dermatitis in Shanghai. *Contact Dermatitis*. 1992 ; 27(3) : 202-03.
- 29 | JOLANKI R, KANERVA L, ESTLANDER T, TARVAINEN K - Concomitant sensitization to triglycidyl isocyanurate, diaminodiphenylmethane and 2-hydroxyethyl methacrylate from silk-screen printing coatings in the manufacture of circuit boards. *Contact Dermatitis*. 1994 ; 30 (1) : 12-15.
- 30 | YOKOTA K, MINAMI T, MICHITSUI H, FUJIO T ET AL. - Occupational dermatitis from soldering flux. *Ind Health*. 2004 ; 42 (3) : 383-84.
- 31 | YOKOTA K, JOHYAMA Y, MATSUMOTO N, YAMAGUCHI K - Occupational dermatitis from a one-component naphthalene type epoxy adhesive. *Ind Health*. 2002 ; 40 (1) : 63-65.
- 32 | CRAVEN NM, BHUSHAN M, BECK MH - Sensitization to triglycidyl isocyanurate, epoxy resins and acrylates in a developmental chemist. *Contact Dermatitis*. 1999 ; 40 (1) : 54-55.
- 33 | KANERVA L, TARVAINEN K, JOLANKI R, HENRIKS-ECKERMAN ML ET AL. - Airborne occupational allergic contact dermatitis due to trimethylolpropane triacrylate (TMPTA) used in the manufacture of printed circuit boards. *Contact Dermatitis*. 1998 ; 38 (5) : 292-94.
- 34 | SKOTNICKI S, PRAIT MD - Occupational dermatitis to ultraviolet-cured acrylic-based inks in computer hard disc manufacturing. *Am J Contact Derm*. 1998 ; 9 (3) : 179-81.
- 35 | KIEC-SWIERCZYNSKA M, KRECISZ B, SWIERCZYNSKA-MACHURA D, ZAREMBA J - An epidemic of occupational contact dermatitis from an acrylic glue. *Contact Dermatitis*. 2005 ; 52 (3) : 121-25.

- 36 | AALTO-KORTE K, SUURONEN K, KUULIALA O, HENRIKS-ECKERMAN ML ET AL - Occupational contact allergy to monomeric isocyanates. *Contact Dermatitis*. 2012 ; 67 (2) : 78-88.
- 37 | GOH CL, NG SK - Airborne contact dermatitis to colophony in soldering flux. *Contact Dermatitis*. 1987 ; 17 (2) : 89-91.
- 38 | MATHIAS CG, ADAMS RM - Allergic contact dermatitis from rosin used as soldering flux. *J Am Acad Dermatol*. 1984 ; 10 (3) : 454-56.
- 39 | WIDSTRÖM L - Contact allergy to colophony in soldering flux. *Contact Dermatitis*. 1983 ; 9 (3) : 205-07.
- 40 | LIDÉN C - Patch testing with soldering fluxes. *Contact Dermatitis*. 1984 ; 10 (2) : 119-20.
- 41 | LI LF, SUJIAN SA, WANG, J - Detection of occupational allergic contact dermatitis by patch testing. *Contact Dermatitis* 2003 ; 49 (4) : 189-93.
- 42 | CRÉPY, MN - Dermatoses professionnelles à la colophane. Allergologie-dermatologie professionnelle TA 65. *Doc Méd Trav*. 2002 ; 89 : 75-82.
- 43 | FROST J, HJORTH N - Contact dermatitis from hydrazine hydrochloride in soldering flux; cross sensitization to apresoline and isoniazid. *Acta Derm Venereol*. 1959 ; 39 : 82-86.
- 44 | CROW KD, HARMAN RR, HOLDEN H - Amine flux sensitization dermatitis in electricity cable jointers. *Br J Dermatol*. 1968 ; 80 (11) : 701-10.
- 45 | GOH CL - Occupational dermatitis from soldering flux among workers in the electronics industry. *Contact Dermatitis*. 1985 ; 13 (2) : 85-90.
- 46 | SUN CC, CHENG CS - Frequency and determinants of occupational contact dermatitis in 2793 consecutively-investigated patients. *Contact Dermatitis*. 1998 ; 38 (4) : 230-31.
- 47 | GOON AT, GOH CL - Epidemiology of occupational skin disease in Singapore 1989-1998. *Contact Dermatitis*. 2000 ; 43 (3) : 133-36.
- 48 | SCHMID-GRENDELMEIER P, ELSNER P - Contact dermatitis due to occupational dibutylthiourea exposure: a case of phonocard dermatitis. *Contact Dermatitis*. 1995 ; 32(5) : 308-09.
- 49 | HELASKOSKI E, KUULIALA O, AALTO-KORTE K - Occupational contact urticaria caused by cyclic acid anhydrides. *Contact Dermatitis*. 2009 ; 60 (4) : 214-21.
- 50 | YOKOTA K, JOHYAMA Y, MIYAUÉ H, MATSUMOTO N ET AL - Occupational contact urticaria caused by airborne methylhexahydrophthalic anhydride. *Ind Health*. 2001 ; 39 (4) : 347-52.
- 51 | ROSENBERG N - Asthme professionnel à la colophane. Allergologie-pneumologie professionnelle TR 31. *Doc Méd Trav*. 2003 ; 94 : 195-200.
- 52 | BOURRAIN JL, JALBERT M, BÉANI JC - Urticaire de contact à la colophane. *Lett GERDA*. 1998 ; 15 : 75-76.
- 53 | RIVERS JK, RYCROFT RJ - Occupational allergic contact urticaria from colophony. *Contact Dermatitis*. 1987 ; 17 (3) : 181.
- 54 | LIM YL, GOON A - Occupational skin diseases in Singapore 2003-2004: an epidemiologic update. *Contact Dermatitis*. 2007 ; 56 (3) : 157-59.
- 55 | BANGSGAARD N, THYSSEN JP, MENNÉ T, ANDERSEN KE ET AL - Contact allergy to epoxy resin: risk occupations and consequences. *Contact Dermatitis*. 2012 ; 67 (2) : 73-77.
- 56 | MAJASUO S, LIIPPO J, LAMMINTAUSTA K - Non-occupational contact sensitization to epoxy resin of bisphenol A among general dermatology patients. *Contact Dermatitis*. 2012 ; 66 (3) : 148-53.
- 57 | KAMIJIMA M, HISANAGA N, WANG H, NAKAJIMA T - Occupational trichloroethylene exposure as a cause of idiosyncratic generalized skin disorders and accompanying hepatitis similar to drug hypersensitivities. *Int Arch Occup Environ Health*. 2007 ; 80 (5) : 357-70.
- 58 | DAI Y, LENG S, LI L, NIU Y ET AL - Effects of genetic polymorphisms of N-acetyltransferase on trichloroethylene-induced hypersensitivity dermatitis among exposed workers. *Ind Health*. 2009 ; 47 (5) : 479-86.
- 59 | FROSC PJ, GEIER J, UTER W, & GOOSSENS A - Patch testing with the patients' own products. In: Duus Johansen J, Frosch PJ, Lepoittevin JP (Eds) - *Contact dermatitis*. 5th edition. Berlin : Springer-Verlag ; 2011 ; 1107-20, 1262 p.
- 60 | BONNARD N, BRONDEAU MT, FALCY M, JARGO D ET AL - Fluorure d'hydrogène et solutions aqueuses. Fiche toxicologique FT 6. Paris : INRS ; 2011 : 9 p.
- 61 | LE ROY D - Des gants contre les risques chimiques. Fiche pratique de sécurité ED 112. Paris : INRS ; 2012 : 4 p.
- 62 | Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS) - Les activités de traitement de surface. Prévention du risque chimique. Recommandation R 442. Paris : INRS ; 2009 : 8 p.
- 63 | Tableaux des maladies professionnelles. INRS ([www.inrs.fr/mp](http://www.inrs.fr/mp)).