

## FICHE TOXICOLOGIQUE

## FT 7

# Aldéhyde formique et solutions aqueuses

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS  
(N. Bonnard, M. Falcy, E. Pasquier, J.-C. Protois)

## CARACTÉRISTIQUES

### UTILISATIONS [1 à 3, 5]

- Intermédiaire de synthèse (utilisation principale):
  - résines urée-formol, phénol-formol, mélamine-formol, polyacétals pour l'industrie du bois (fabrication de panneaux de contre plaqués, d'agglomérés, de stratifiés...), l'industrie du papier, les matériaux d'isolation, l'industrie des matières plastiques, l'industrie textile, colles, peintures...
  - nombreux produits chimiques: agents chélatants (acide éthylènediaminetétraacétique/EDTA, acide nitrilotriacétique/NTA...), polyols (1,4-butanediol, pentaérythritol...), hexaméthylènetétramine, méthylènedianiline (MDA), isocyanates (MDI), produits acétyléniques...
  - engrais...

- Agent désinfectant, biocide (fongicide, bactéricide, insecticide): applications nombreuses et diverses, par exemple produits d'entretien ménagers et industriels, industrie agroalimentaire (agent de conservation pour aliments et ensilages, désinfection), industrie des cosmétiques, industrie pharmaceutique, médecine humaine et animale (désinfectant, embaumage, désinfection des locaux, ustensiles et vêtements...), etc.

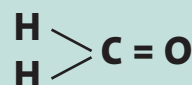
Il est également utilisé comme agent de coagulation et de conservation du latex, durcisseur de films dans l'industrie photographique, inhibiteur de corrosion dans l'industrie mécanique et métallurgique, agent réducteur pour la récupération des métaux précieux, dans les laboratoires, en histologie pour la fixation des tissus...

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES [1 à 7]

À la température ordinaire, l'aldéhyde formique est un gaz incolore, d'odeur piquante et suffocante. Il est très soluble dans l'eau et dans les solvants polaires tels que l'éthanol, l'acétone et l'oxyde de diéthyle.

Ses principales caractéristiques physiques sont les suivantes.

Masse molaire	30,03
Point de fusion	- 92 °C; - 118 °C
Point d'ébullition	- 20 à - 19 °C
Densité	0,816 g/cm <sup>3</sup> à - 20 °C
Densité de vapeur (air = 1)	1,04-1,06
Tensions de vapeur	517-519 kPa à 25 °C
Température d'auto-inflammation	424 °C



### Numéro CAS

50-00-0

### Numéro CE (EINECS)

200-001-8

### Numéro Index

605-001-5

### Synonymes

Formaldéhyde, Formol  
Méthanal, Oxométhane  
Formaline (pour les solutions aqueuses)



T - Toxique

### FORMALDÉHYDE... (> = 25%)

R 23/24/25 – Toxique par inhalation, par contact avec la peau et par ingestion.

R 34 – Provoque des brûlures.

R 40 – Effet cancérigène suspecté – preuves insuffisantes.

R 43 – Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.

S 26 – En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste.

S 36/37/39 – Porter un vêtement de protection approprié, des gants et un appareil de protection des yeux/du visage.

S 45 – En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

S 51 – Utiliser seulement dans des zones bien ventilées.

200-001-8 Étiquetage CE.

**SGH: voir § Réglementation – Classification et étiquetage.**

(\*) Mise à jour partielle de l'édition 2006.

Limites d'inflammabilité (% en volume dans l'air):	
limite inférieure	7%
limite supérieure	73%
Coefficient de partage log Po/w	0,35 à 25 °C

### À 25°, 1 ppm = 1,23 mg/m<sup>3</sup>.

L'aldéhyde formique n'est pas commercialisé sous forme gazeuse. Il est généralement livré en solutions aqueuses à des concentrations de 30 % à 55 % en poids. Mais il est également disponible sous ses formes polymérisées : le paraformaldéhyde (polymère) ou le trioxane (trimère).

Les solutions aqueuses commerciales renferment généralement de 0,5 à 15 % de méthanol comme inhibiteur de polymérisation. Leur point d'éclair varie selon leur composition : 83 °C pour une solution aqueuse à 37 % en poids d'aldéhyde formique sans méthanol, 50 °C si elle renferme 15 % de méthanol.

Le *paraformaldéhyde* (CAS n° 30525-89-4) se présente sous forme de poudre ou cristaux blancs ; il est peu soluble dans l'eau froide, très soluble dans l'eau chaude libérant des vapeurs d'aldéhyde formique, insoluble dans l'éthanol et l'oxyde de diéthyle. Il renferme l'équivalent de 90 à 93 % d'aldéhyde formique et jusqu'à 10 % d'eau

Le *trioxane* (CAS n° 123-63-7) est un solide cristallin (pureté ≥ 99,5%), d'odeur de chloroforme, très soluble dans l'eau, les alcools, les cétones, l'oxyde de diéthyle, les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures chlorés. En milieu non aqueux, il libère très rapidement le monomère aldéhyde formique.

## PROPRIÉTÉS CHIMIQUES [1, 4, 6]

L'aldéhyde formique est un composé très réactif et très hygroscopique. Il se polymérise facilement en particulier à froid ou en présence de traces d'impuretés polaires (acides, alcalins) ou d'eau (le gaz pur et sec est relativement stable à 80-100 °C).

Dans l'eau, à température ambiante, l'aldéhyde formique est présent sous forme d'hydrate et de poly(oxyméthylène)glycols, oligomères qui troublent les solutions aqueuses. Le méthanol et certains stabilisants, tels que des dérivés de la cellulose, permettent de ralentir ou d'inhiber la polymérisation.

L'aldéhyde formique s'oxyde lentement dans l'air avec formation d'acide formique ; l'oxydation complète donne du dioxyde de carbone et de l'eau.

En absence de catalyseur, l'aldéhyde formique ne se décompose sensiblement qu'au-dessus de 300 °C ; il se forme principalement du monoxyde de carbone et de l'hydrogène. Des métaux tels que platine, cuivre, chrome, aluminium catalysent la formation de méthanol, formiate de méthyle, acide formique, dioxyde de carbone et méthane.

Il réagit vigoureusement avec les oxydants forts, les acides et les bases. La réaction de condensation du phénol avec l'aldéhyde formique peut être violente voire explosive. Dans certaines conditions de température et d'humidité, l'action de l'aldéhyde formique sur le chlorure d'hydrogène peut engendrer de l'oxyde de bis(chlorométhyle), cancérigène puissant. L'aldéhyde formique en solution diluée peut réagir avec l'hydroxyde de sodium en libérant de l'hydrogène.

Les solutions d'aldéhyde formique sont légèrement corrosives vis-à-vis de la plupart des métaux.

## Récipients de stockage

Le stockage peut s'effectuer dans des récipients en acier inoxydable, matériaux galvanisés, polyéthylène.

## VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

Des valeurs limites indicatives de moyenne d'exposition pondérée (8 h/jour ; 40 h/semaine) et des valeurs limites indicatives d'exposition à court terme (15 min au maximum) dans l'air des locaux de travail ont été établies pour le formaldéhyde.

- France :  
0,5 ppm (VME) ; 1 ppm (VLE)
- États-Unis (ACGIH) :  
0,3 ppm (TLV-STEL-C)
- Allemagne (Valeurs MAK) :  
0,3 ppm soit 0,37 mg/m<sup>3</sup>.

## MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE DÉTERMINATION DANS L'AIR

- Appareils à réponse instantanée :
  - DRAEGER : Tubes 0,002 ; 0,2/a ; 2/a
  - MSA : Tube 20305077
  - GASTEC : Tubes 91 ; 91M ; 91L ; 91LL
- Prélèvement par pompage de l'atmosphère sur support imprégné de 2,4-dinitrophénylhydrazine. Désorption de l'hydrazone formée par l'acétonitrile ; dosage par HPLC, détection UV [30 à 32].
- Prélèvement passif par badge [33, 34].

## INCENDIE – EXPLOSION

L'aldéhyde formique est un gaz très inflammable qui peut former des mélanges explosifs avec l'air.

Ses solutions aqueuses, stabilisées au méthanol, peuvent s'enflammer (le point d'éclair d'une solution aqueuse à 37 % de formaldéhyde, stabilisée par 15 % de méthanol est d'environ 50 °C) et leurs vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air.

Les agents d'extinction préconisés sont l'eau pulvérisée, le dioxyde de carbone, les poudres chimiques et les mousses spéciales.

Refroidir les récipients ayant été exposés au feu à l'aide d'eau pulvérisée.

Les intervenants, qualifiés, seront équipés d'appareils de protection respiratoire autonomes isolants et de combinaisons spéciales.

### TOXICOCINÉTIQUE – MÉTABOLISME [3, 8 à 11]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique est facilement absorbé dans les voies aériennes supérieures. Il est rapidement métabolisé en formiate et dioxyde de carbone et peut être incorporé dans le métabolisme normal. Au site de contact, il peut également réagir avec les protéines et l'ADN et former des ponts. À des doses modérées, il ne semble pas atteindre la circulation systémique.**

L'aldéhyde formique est une substance endogène naturellement présente chez l'homme à une concentration sanguine d'environ 2,7 mg/l.

Il est rapidement absorbé par voie respiratoire, digestive et plus faiblement par voie percutanée (319 µg/cm<sup>2</sup>/h in vitro après application d'une solution à 37 % sur de la peau humaine). Plus de 90 % de la dose inhalée sont retenus dans les voies nasales chez le rat. Chez le singe, l'absorption se produit principalement dans les voies aériennes supérieures mais également dans la trachée et les bronches principales.

Chez le rat, la distribution de la radioactivité après inhalation d'aldéhyde formique marqué (15 ppm, 6 h) se fait principalement dans l'œsophage, les reins, le foie, les intestins et les poumons.

En fait, ce n'est pas l'aldéhyde formique lui-même qui est distribué, mais ses métabolites ou les produits de sa réaction avec diverses substances nucléophiles. En effet, dès les muqueuses respiratoires, il est rapidement oxydé en formiate et en dioxyde de carbone par divers systèmes enzymatiques largement distribués et nécessitant notamment la présence de glutathion. Le formiate est alors également incorporé dans les biosynthèses métaboliques.

Par ailleurs, en raison de sa forte réactivité, l'aldéhyde formique peut se lier de manière covalente avec les substances nucléophiles présentes au niveau des revêtements superficiels (mucus, protéines et acides nucléiques des épithéliums...) et former des adduits et des ponts ADN-protéines.

Après injection intraveineuse chez le rat, la demi-vie plasmatique de l'aldéhyde inchangé est donc très brève (environ 1 min 30).

Après inhalation de doses faibles ou modérées, une quantité d'aldéhyde formique négligeable est donc attendue en systémique [11] et aucune augmentation de la concentration sanguine normale n'a effectivement été montrée chez le rat (15 ppm pendant 2 h), le singe (6 ppm, 6 h/jour, 5 j/semaine pendant 4 semaines) et l'homme (1,9 ppm pendant 40 min). Néanmoins, les lésions caustiques au site de contact peuvent favoriser le passage systémique.

L'élimination de l'aldéhyde formique se fait principalement par expiration sous forme de CO<sub>2</sub> (40 %) et par excrétion urinaire de formiate (17 %) chez le rat après inhalation. Une grande partie (35-39 %) reste dans les tissus en raison de son incorporation dans le cycle du carbone.

#### Surveillance biologique de l'exposition [36]

Le dosage sanguin du formaldéhyde juste avant la fin du poste de travail a été proposé pour la surveillance biologique. La demi-vie plasmatique du formaldéhyde étant

très courte, aucune corrélation avec les concentrations atmosphériques n'a pu être mise en évidence.

Les dosages urinaires d'acide formique, prélèvements effectués en fin de journée de travail, sont proposés pour la surveillance des salariés exposés à de fortes concentrations de formaldéhyde. Ce dosage n'est pas spécifique : métabolisme des acides aminés endogènes, exposition au méthanol, à l'acétone, à certains médicaments, aliments et tabac. Il existe de larges variations individuelles de l'élimination des formates. La corrélation entre ce paramètre et les concentrations atmosphériques serait médiocre. Les dosages urinaires et sanguins sont donc d'un intérêt limité pour la surveillance de l'exposition professionnelle car ces indicateurs sont peu sensibles. Ces dosages sont surtout utilisés lors d'intoxications aiguës.

### TOXICITÉ EXPÉRIMENTALE

#### Toxicité aiguë [3, 8, 10]

**L'aldéhyde formique est toxique par inhalation, ingestion et contact cutané, les symptômes étant principalement liés à ses propriétés irritantes : il est modérément irritant pour la peau mais sévèrement irritant pour les yeux. Les vapeurs induisent une irritation des voies respiratoires et des muqueuses oculaires. C'est également un sensibilisant cutané.**

La CL50 par inhalation chez le rat est de 480 ppm pour une exposition de 4 h et de 815 ppm pour une exposition de 30 min.

Les études expérimentales confirment l'action irritante observée chez l'homme. Une diminution de la motilité ciliaire, responsable d'une chute de la clairance du mucus, a été observée dès 1 ppm sur des préparations de trachée de rat. Histologiquement, des lésions ciliaires et cellulaires au niveau de l'épithélium respiratoire ont été observées chez des rats exposés à 3 ppm pendant 3 jours (6 h/j). Des lésions similaires sont retrouvées chez le singe Rhésus à partir de 6 ppm pendant 5 jours (6 h/j).

La DL50 par voie percutanée est de 270 mg/kg chez le lapin. L'aldéhyde formique, lorsqu'il est appliqué à raison de 50 mg pendant 24 heures sur la peau du lapin, entraîne une irritation cutanée modérée. Il est caustique pour les muqueuses oculaires, même à faible dose (750 µg) [12]. De nombreux tests sur différents modèles (essai de stimulation des ganglions lymphatiques sur souris, essais de Buehler et de maximisation sur cobayes) indiquent que l'aldéhyde formique est un sensibilisant cutané chez l'animal qui induit une réponse modérée à forte à des concentrations non irritantes [13].

Les DL50 par voie orale sont de 800 mg/kg chez le rat et de 260 mg/kg chez le cobaye. L'aldéhyde formique est fortement irritant pour les muqueuses digestives. Des lésions parenchymateuses ont été notées en cas d'intoxication aiguë massive ; il s'agissait de foyers de cytolysé hépatique et d'un œdème rénal.

#### Toxicité chronique [3, 8 à 10, 14]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique induit des lésions des muqueuses nasales à des concentrations supérieures à 1 ppm chez le rat. Leur localisation dépend de la concentration au site de contact et elles s'étendent plus profondément chez le singe. Aucun effet systémique n'est observé quelles que soient la voie d'administration ou l'espèce testées.**

Les effets de l'exposition répétée à des vapeurs ou des aérosols d'aldéhyde formique ont été étudiés chez plusieurs espèces animales. Le rat semble être l'espèce la plus sensible aux effets du toxique sur les voies respiratoires, probablement car il est moins apte à protéger ses voies respiratoires en réduisant son débit ventilatoire en réponse aux effets irritants.

Des altérations fonctionnelles et des lésions locales ont été décelées chez le rat après des expositions répétées à des concentrations supérieures ou égales à 2 ppm : diminution de la clairance mucociliaire nasale, dysplasie et métaplasie squameuse de l'épithélium respiratoire, hyperplasie des cellules caliciformes et rhinite purulente ou séropurulente. Lorsque les concentrations sont plus élevées, les lésions sont plus sévères et s'étendent dans les fosses nasales mais la sévérité ne semble pas dépendre de la dose totale administrée. Aucune anomalie n'a été observée pour des concentrations inférieures à 1 ppm.

La localisation des lésions correspond principalement aux zones exposées aux plus fortes doses d'aldéhyde formique. Elles se concentrent dans la partie antérieure des fosses nasales chez le rat. Chez le singe (6 ppm pendant 1 à 6 semaines), elles sont plus postérieures (cornet moyen) et des lésions minimales sont également observées dans la trachée et les bronches principales. Comme chez le rat, la NOAEL chez le singe est de 1 ppm.

L'administration orale d'aldéhyde formique à des chiens (50, 75 ou 100 mg/kg/j) et à des rats (50, 100 ou 150 mg/kg/j) pendant 90 jours ne produit qu'un ralentissement de la prise de poids chez les animaux des deux espèces recevant les plus fortes doses. Aucune lésion organique n'est observée. Administré dans l'eau de boisson pendant 2 ans, il induit une diminution marquée de la consommation hydrique et des lésions des voies digestives à partir de 50 mg/kg/j chez le rat.

L'application cutanée répétée d'aldéhyde formique est responsable d'une irritation dont la gravité dépend de la concentration de la solution utilisée et aucune toxicité systémique n'est observée.

### Effets génotoxiques [3, 8 à 10, 14, 16]

**À des doses irritantes, l'aldéhyde formique induit un faible effet génotoxique limité au site de contact. Cet effet semble lié à sa capacité à former des ponts ADN-protéines.**

La plupart des tests de mutagenèse réalisés in vitro sont positifs, quel que soit le matériel utilisé (virus, bactéries, levures, cellules de mammifères), et reflètent une capacité à endommager l'ADN. Le pouvoir mutagène de l'aldéhyde formique est diminué par l'adjonction aux préparations d'un système métabolisant, ce qui indique que c'est probablement le produit qui est génotoxique.

L'aldéhyde formique, très réactif, peut former des ponts ADN-protéines qui peuvent provoquer un blocage de la réplication de l'ADN et être à l'origine des lésions observées sur l'ADN.

In vivo, l'aldéhyde formique induit à des doses irritantes un faible effet génotoxique au site de contact par ingestion et par inhalation. La présence de ponts ADN-protéines a également été observée au site de contact par inhalation mais l'absence d'accumulation suggère l'existence d'un mécanisme d'élimination rapide de ses liaisons.

En revanche, aucune étude fiable ne montre un effet génotoxique ou des liaisons covalentes de l'aldéhyde for-

mique avec l'ADN à distance du point de contact chez les mammifères.

### Effets cancérigènes [3, 8 à 10, 14]

**Par inhalation, l'aldéhyde formique est un cancérigène local avec un effet seuil : il induit des carcinomes épidermoïdes des fosses nasales chez le rat et l'apparition des tumeurs semble liée à la prolifération cellulaire en réponse aux effets irritants chroniques.**

Par inhalation, l'aldéhyde formique induit des carcinomes épidermoïdes des fosses nasales chez le rat à partir de 5,6 ppm, 6 h/j et 5 j/sem., pendant 24 mois. Aucune tumeur n'est observée à des concentrations inférieures ou égales à 2 ppm mais l'incidence des tumeurs augmente rapidement au-delà de 5,6 ppm. La fréquence de ces tumeurs est également augmentée chez les souris exposées à 14,3 ppm mais de façon statistiquement non significative. L'exposition à 10 ppm d'aldéhyde formique, 5 h/j, 5 j/sem., pendant toute la vie, n'induit pas de tumeur de l'arbre respiratoire chez le hamster.

Cette différence de sensibilité inter-espèces est similaire à celle observée pour les effets d'irritation des voies respiratoires et la localisation des tumeurs correspond également aux zones lésées. Les tumeurs apparaissent en présence de signes d'irritation chronique qui sont observés dès 2 ppm et des études récentes montrent que l'induction des tumeurs est vraisemblablement liée au phénomène de prolifération cellulaire en réponse à l'irritation [17, 18]. Le faible pouvoir génotoxique de l'aldéhyde formique, qui ne s'exprime pas à faible dose car les mécanismes de protection cellulaire sont alors capables de réparer les lésions induites, est amplifié à forte dose par la prolifération cellulaire réactionnelle et peut expliquer la relation dose-réponse particulière qui est observée.

Le pouvoir cancérigène de l'aldéhyde formique administré par d'autres voies (orale, sous-cutanée) a fait l'objet de plusieurs études. Leurs résultats sont discordants. Toutes ces études souffrent de biais méthodologiques qui en empêchent l'interprétation.

### Effets sur la reproduction [3, 8 à 10, 14]

**Les études disponibles ne montrent pas d'effet spécifique de l'aldéhyde formique sur la reproduction.**

Les effets de l'aldéhyde formique sur la reproduction ont été étudiés chez le chien, le hamster et le rat. Le produit était administré par voies respiratoire (2 à 39 ppm), orale (5 à 375 ppm dans l'eau de boisson ; 74 à 185 mg/kg par gavage) ou percutanée (application de 185 mg), pendant des périodes variables avant et/ou pendant l'accouplement et la gestation.

Aucun effet tératogène n'a été mis en évidence. Aux doses étudiées, l'aldéhyde formique ne modifie pas la fertilité des animaux des 2 sexes. Des effets foetotoxiques apparaissent aux plus fortes doses (supérieures à 10 ppm par inhalation ; 185 mg/kg par jour par voie orale) mais peuvent être dus à la toxicité maternelle [15] ou à la taille importante des portées. Deux études signalent une prolongation de la gestation dans les groupes traités par l'aldéhyde formique.

Des études par voie intrapéritonéale ont montré l'induction d'anomalies du sperme chez le rat et la souris vraisemblablement dues aux propriétés cytotoxiques de

l'aldéhyde formique libre en l'absence de métabolisation au site de contact.

## TOXICITÉ SUR L'HOMME

### Toxicité aiguë [20, 22 à 25]

La perception olfactive et la sensibilité aux effets irritants de l'aldéhyde formique varient d'un individu à l'autre. L'odeur est perçue à des concentrations comprises entre 0,1 et 1 ppm. L'irritation des muqueuses nasales est ressentie par la plus grande partie de la population à des concentrations comprises entre 1 et 3 ppm et s'aggrave rapidement lorsque le taux atmosphérique s'élève. La plupart des individus ne peuvent tolérer une exposition prolongée à 4-5 ppm. À 10-20 ppm, des signes d'irritation sévère des muqueuses oculaires et des voies respiratoires surviennent dès le début de l'exposition. Un séjour, même bref, dans une atmosphère où la concentration d'aldéhyde formique est supérieure à 50 ppm peut être responsable d'un bronchospasme sévère et de lésions caustiques graves de l'arbre respiratoire (œdème pulmonaire aigu, ulcérations trachéales et bronchiques...).

L'exposition de volontaires sains, non-fumeurs, à 2 ppm pendant 40 minutes, au repos ou avec un exercice modéré (pendant 10 minutes sur 40) ne modifie pas les débits respiratoires au cours des 24 heures suivantes et n'induit pas d'hyperréactivité bronchique.

Chez des volontaires sains soumis à des concentrations de 0,3-0,5-1 ou 2 mg/m<sup>3</sup> (environ 0,25 à 1,8 ppm), 5 heures par jour pendant 4 jours, la fonction respiratoire (évaluée par étude spirométrique) n'est pas altérée ; il n'y a pas non plus de diminution des performances intellectuelles (tests mathématiques). La clairance mucociliaire nasale est diminuée significativement dans tous les groupes, sauf celui exposé à 1 mg/m<sup>3</sup> (environ 0,9 ppm). De même, une exposition à 0,12 ou 0,85 mg/m<sup>3</sup> (0,1 à 0,7 ppm) pendant 2 heures ne modifie pas les débits ventilatoires d'asthmatiques ayant une hyperréactivité bronchique.

L'ingestion d'aldéhyde formique est suivie de troubles digestifs dont l'intensité dépend de la concentration et de la quantité de la solution ingérée. Lorsqu'elles sont importantes, l'aldéhyde formique se comporte comme un caustique puissant. Les douleurs buccales, rétro-sternales et épigastriques sont intenses. L'examen oropharyngé et la fibroscopie œsogastroduodénale permettent de faire le bilan des lésions. Celles-ci risquent d'être initialement sous-estimées, car elles se constituent lentement et ont un aspect particulier : la paroi est figée, atone, décolorée, mais la muqueuse est initialement parfaitement conservée (telle une préparation anatomique fixée par l'aldéhyde formique). L'intoxication systémique par l'aldéhyde formique est responsable d'une atteinte polyviscérale se manifestant par un coma souvent convulsif, une cytolyse hépatique, des troubles cardiovasculaires (tachycardie sinusale et vasoconstriction initiales puis vasodilatation, hypotension, voire collapsus cardiovasculaire), une hémolyse modérée et une néphropathie tubulaire. En cas d'intoxication sévère, une acidose métabolique intense et une coagulopathie de consommation sont habituelles. À court terme, les complications les plus fréquentes sont les perforations et les hémorragies digestives d'une part, les syndromes de détresse respiratoire (révélant un œdème laryngé, une destruction du carrefour aérodigestif, une pneumopathie d'inhalation ou une fistule œsotrachéale)

d'autre part. L'évolution ultérieure est dominée par le risque de constitution de sténoses digestives.

Les signes d'irritation oculaire sont ressentis pour des concentrations comprises entre 0,1 et 1 ppm, selon les individus. À 1 ppm, tous les sujets exposés sont irrités. La projection oculaire de solutions très diluées (0,2%) produit une sensation de picotement et une hyperhémie conjonctivale qui régressent rapidement après décontamination. Avec les solutions concentrées (40%), des lésions caustiques graves du globe oculaire ont été observées. Elles sont souvent sous-estimées par l'examen initial à la lampe à fente, car l'aldéhyde formique conserve l'aspect des tissus contaminés. Si une décontamination précoce n'est pas réalisée, des lésions sévères (opacités cornéennes, glaucome, iritis, destruction du globe oculaire) sont possibles.

L'application cutanée d'une solution à 1% d'aldéhyde formique est faiblement irritante. Les solutions concentrées sont caustiques.

### Toxicité chronique [19, 21, 25 à 29]

Diverses études épidémiologiques portant sur des sujets exposés professionnellement à l'aldéhyde formique mettent en évidence une prévalence élevée de différents symptômes ; toutefois, il est souvent difficile d'attribuer les effets constatés au seul aldéhyde formique à cause de nombreuses co-expositions (solvants, poussières de bois, phénol...). Les principaux signes rapportés comprennent :

- des signes subjectifs d'irritation des muqueuses oculaires et des voies respiratoires pour des expositions souvent supérieures à 1 ppm ;
- des manifestations évoquant une pathologie respiratoire chronique ;
- des altérations permanentes ou rythmées par le travail des épreuves fonctionnelles respiratoires ; les concentrations moyennes d'exposition sont évaluées à 0,5 ppm ;
- et des lésions de l'épithélium respiratoire nasal.

De nombreuses études ont également rapporté une prévalence élevée de signes d'irritation oculaire et cutanée modérée dans les populations exposées à de faibles concentrations d'aldéhyde formique (inférieures à 1 ppm) en dehors de leur travail (habitations isolées avec des résines urée-formol).

L'aldéhyde formique est un puissant allergène ; il peut être responsable de sensibilisations cutanées (eczéma, urticaire) et respiratoires (rhinite, asthme), voire d'un choc anaphylactique (accidents d'hémodialyse).

Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence des manifestations évoquant un psychosyndrome organique (céphalées, asthénie, troubles de la mémoire, de l'humeur et du sommeil...) chez les individus exposés à l'aldéhyde formique et à des solvants organiques. Du fait de ces co-expositions, il n'est pas possible d'imputer de façon certaine les troubles décrits au seul aldéhyde formique. Cependant dans certains cas, les altérations neurocomportementales ont pu être reliées au degré d'exposition à l'aldéhyde formique.

### Effets génotoxiques [7, 19]

Les résultats des nombreuses études réalisées chez des travailleurs exposés à l'aldéhyde formique (industrie du bois, services d'anatomo-pathologie) sont discordants. Le produit induit des liaisons ADN-protéines dans les lymphocytes circulants. Les recherches de micronoyaux,

d'aberrations chromosomiques, d'échange de chromatides sœurs sont parfois positives sur des cellules nasales ou buccales mais également sur des lymphocytes. Ces effets ne sont pas dépendants de la concentration d'exposition et sont largement variables en fonction des co-expositions.

### Effets cancérogènes [19]

*Au niveau de l'Union européenne, une proposition de révision du classement cancérogène du formaldéhyde (actuellement classé cancérogène catégorie 3) est en cours de discussion.*

*En 2004, le CIRC a classé l'aldéhyde formique dans le groupe 1 des agents cancérogènes pour l'homme.*

Cet avis du CIRC se base sur les résultats de plusieurs études épidémiologiques et d'une méta-analyse publiée en 1997 qui mettent en évidence une augmentation de l'incidence de cancers nasopharyngés chez des sujets fortement exposés professionnellement (embaumeurs ou salariés d'industries utilisant l'aldéhyde formique). Il est très peu probable que cette augmentation du nombre de cancers puisse être expliquée par des facteurs confondants ou des biais dans les études.

On suspecte également la possibilité d'un lien entre les expositions à l'aldéhyde formique dans certaines professions (embaumeurs, anatomo-pathologistes, employés de morgues) et la survenue de leucémies, principalement de type myéloïde. Cependant si le doute est fort, une liaison formelle n'a pas été actuellement retenue du fait d'études épidémiologiques négatives dans certains secteurs industriels utilisant le formol et de l'absence d'effet dose-réponse dans certaines autres.

Plusieurs études cas-témoins ont montré une augmentation du nombre de carcinomes des sinus avec un effet dépendant de la dose. Ces résultats sont contredits par des études de cohorte récentes qui n'ont pas montré d'effet chez des travailleurs de l'industrie ou de la confection. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que certaines études cas-témoins n'ont pas pris en compte de façon satisfaisante l'exposition aux poussières de bois.

D'autres sites de cancers (cavité buccale, pancréas, cerveau, poumons...) ont été évoqués dans certaines études sans qu'un lien de causalité formel puisse toutefois être mis en évidence avec l'exposition à l'aldéhyde formique.

### Effets sur la reproduction [19]

On dispose des résultats de 11 études épidémiologiques qui ont évalué les effets des expositions à l'aldéhyde formique sur les différents paramètres de la reproduction (fertilité, avortement, poids de naissance, malformation, endométriose). Les seuls effets parfois observés sont une augmentation des avortements spontanés et une diminution du poids de naissance ; ces résultats restent toutefois douteux et le rôle de certains autres facteurs de risque ne peut être exclu.

## RÉGLEMENTATION

Rappel : les textes cités se rapportent essentiellement à la **prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale**. Les rubriques « Protection de la population » et « Protection

de l'environnement » ne sont que très partiellement renseignées.

## HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL

### 1. Règles générales de prévention des risques chimiques

- Articles R. 231-54 à R. 231-54-17 du Code du travail.
- Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO)

### 2. Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 232-5 à R. 232-5-14 du Code du travail.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

### 3. Prévention du risque cancérogène, mutagène ou toxique pour la reproduction

- Articles R. 231-56 à R. 231-56-12 du Code du travail.
- Arrêté du 13 juillet 2006 (JO du 26 juillet 2006) modifiant l'arrêté du 5 janvier 1993 : les travaux exposant au formaldéhyde sont ajoutés à la liste des procédés considérés comme cancérogènes selon les critères définis à l'article R. 231-56 du code du travail.
- Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

### 4. Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 232-12 à R. 232-12-22 du Code du travail.
- Articles R. 232-12-23 à R. 232-12-29 du Code du travail.
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

### 5. Cuves et réservoirs

- Article R. 233-46 du Code du travail et circulaire du ministère du Travail du 11 avril 1952 (non parue au JO).

### 6. Valeurs limites d'exposition professionnelle

- Circulaire du 12 juillet 1993 modifiant et complétant la circulaire du ministère du Travail du 19 juillet 1982 (non parues au JO).

### 7. Maladies de caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

### 8. Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableau n° 43.

### 9. Surveillance médicale renforcée

- Arrêté du 11 juillet 1977 (JO du 24 juillet 1977) fixant la liste des travaux nécessitant une surveillance médicale spéciale et circulaire du 29 avril 1980 (non parue au JO).

### 10. Classification et étiquetage

- a) de l'aldéhyde formique en solution :
- Arrêté du 8 juin 1998 (JO du 3 juillet 1998) modifiant l'arrêté du 20 avril 1994, qui prévoit la classification suivante :
  - aldéhyde formique en solution, concentration  $\geq 25\%$  Toxique, R 23/24/25

Corrosif, R 34  
Cancérogène Cat. 3, R 40  
Sensibilisant, R 43

- 5 % ≤ C < 25 % : Xn ; R 20/21/22 – 36/37/38 – 40 – 43
- 1 % ≤ C < 5 % : Xn ; R 40 – 43
- 0,2 % ≤ C < 1 % : Xi ; R 43

**SGH** : le règlement européen qui introduit dans l'UE le nouveau système général harmonisé de classification et d'étiquetage, le SGH ou GHS, devrait être adopté en 2008. Les classifications et étiquetages de l'aldéhyde formique harmonisés selon les deux systèmes (directive 67/548/CE et règlement) figureront dans l'annexe VI du règlement.

- b) des **préparations** contenant de l'aldéhyde formique :
- Arrêté du 9 novembre 2004 (JO du 18 novembre 2004). Des limites spécifiques de concentration sont fixées à l'annexe 1 des substances dangereuses (voir ci-dessus).

### 11. Entreprises extérieures

- Arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant en application de l'article R. 237-8 du Code du travail la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

## PROTECTION DE LA POPULATION

- Article L. 5132.2, articles R. 5132-43 à R. 5132-73 et R. 1342-1 à R. 1342-12 du Code de la santé publique :
  - détention dans des conditions déterminées (art. R. 5132-66) ;
  - étiquetage (cf. 9) ;
  - cession réglementée (art. R. 5132-58 et R. 5132-59).

## PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Installations classées pour la protection de l'environnement, Paris, imprimerie des Journaux officiels, brochure n° 1001 :

N° 1130 : fabrication industrielle de substances et préparations toxiques.

N° 1131 : emploi ou stockage de substances et préparations toxiques.

N° 1140 : fabrication, emploi ou stockage du formol-aldéhyde de concentration ≥ 90 %.

## TRANSPORT

Se reporter éventuellement aux règlements suivants.

### 1. Transport terrestre national et international (route, chemin de fer, voie de navigation intérieure)

ADR, RID, ADN :

- *formaldéhyde en solution contenant au moins 25 % de formaldéhyde*  
N° ONU : 2209  
Classe : 8  
Groupe d'emballage : III
- *formaldéhyde en solution inflammable*  
N° ONU : 1198  
Classe : 3  
Groupe d'emballage : III

### 2. Transport par air

- IATA

### 3. Transport par mer

- IMDG

## RECOMMANDATIONS

**Les travaux exposant au formaldéhyde ont été ajoutés à la liste des procédés considérés comme cancérogènes au sens de l'article R. 231-56 du Code du travail : depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2007, les règles particulières de prévention des risques d'exposition aux agents cancérogènes sont applicables à ces travaux.**

### I. AU POINT DE VUE TECHNIQUE

#### Stockage

■ Stocker les solutions d'aldéhyde formique dans des locaux frais, bien ventilés, à l'abri des rayons solaires et à l'écart de toute source d'ignition et de matières inflammables, d'oxydants et de produits alcalins. La température de ces locaux sera conforme aux instructions du fournisseur (entre 6 et 35°C, selon la concentration en aldéhyde formique et la teneur en méthanol).

■ Le sol des locaux sera imperméable et formera une cuvette de rétention afin qu'en cas de déversement accidentel, les solutions ne puissent se répandre au-dehors.

■ Prendre toute disposition pour éviter l'accumulation d'électricité statique.

■ Interdire de fumer.

■ Mettre le matériel, notamment le matériel électrique y compris l'éclairage, en conformité à la réglementation en vigueur.

■ Les récipients seront soigneusement fermés et étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

■ Prévoir, à proximité des locaux, des équipements complets de protection individuelle, y compris des appareils de protection respiratoire autonomes pour les interventions d'urgence, un poste d'eau à débit abondant, des douches de sécurité et des fontaines oculaires.

#### Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux ateliers où sont manipulées les solutions d'aldéhyde formique. En outre :

■ Instruire le personnel des risques présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident. Les procédures spéciales en cas d'urgence feront l'objet d'exercices d'entraînement.

■ Toutes dispositions doivent être prises pour empêcher ou, à défaut, réduire au niveau le plus bas possible, l'exposition au formaldéhyde.

■ Éviter l'inhalation de gaz, de vapeurs ou d'aérosols. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration du produit à sa source d'émission. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée à caractère exceptionnel ou pour les interventions d'urgence.

■ Éviter tout contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des vêtements de

protection, bottes, gants (caoutchouc nitrile ou caoutchouc butyle par exemple ; caoutchouc naturel, alcool polyvinylique et polyéthylène sont déconseillés pour les solutions concentrées (> 30%) [35]) et lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.

- Contrôler régulièrement la teneur de l'atmosphère en formaldéhyde.
- Prévoir l'installation de douches et de fontaines oculaires.
- Ne pas boire ou manger dans les ateliers. Observer une hygiène corporelle et vestimentaire très stricte : passage à la douche et changement de vêtements après le travail. L'employeur assurera l'entretien et le lavage fréquent des vêtements de travail qui devront rester dans l'entreprise.
- Ne jamais procéder à des travaux sur et dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu des solutions d'aldéhyde formique sans prendre les précautions d'usage [37].
- Éviter les rejets atmosphériques et aqueux pollués par l'aldéhyde formique.
- En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer le produit au moyen d'un matériau absorbant inerte. Si les quantités répandues sont importantes, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection adapté.
- Conserver les déchets dans des récipients spécialement prévus à cet effet, convenablement étiquetés ; les éliminer dans les conditions autorisées par la réglementation.

## II. AU POINT DE VUE MÉDICAL

### À l'embauchage et aux examens périodiques

- Éviter d'exposer à l'aldéhyde formique les personnes ayant une maladie respiratoire chronique, une dermatose des parties découvertes en poussée ou des antécédents d'allergie à l'aldéhyde formique. Si l'exposition doit être régulière, l'examen clinique d'embauchage sera utilement complété par des épreuves fonctionnelles respiratoires dont les résultats pourront être comparés à ceux des examens ultérieurs.

- L'interrogatoire et l'examen clinique rechercheront particulièrement une irritation oculaire, respiratoire ou cutanée, une allergie cutanée ou respiratoire, une affection respiratoire chronique, des signes évoquant un psychosyndrome organique. S'ils découvrent des anomalies, les données cliniques seront complétées par les examens complémentaires que le médecin du travail estimera nécessaires. Les épreuves fonctionnelles respiratoires pourront systématiquement être répétées à intervalles réguliers.

- Du fait de la présence de formol liée notamment à des voies métaboliques normales de l'organisme et à la demi-vie brève de cette molécule, les dosages urinaires et sanguins sont d'un intérêt limité pour la surveillance de l'exposition professionnelle car ces indicateurs sont peu sensibles. Ils sont surtout utilisés lors d'intoxications aiguës.

### En cas d'accident

- Lors d'accidents aigus, demander, dans tous les cas, l'avis d'un médecin ou du centre antipoison.

- En cas de contact cutané, laver immédiatement à grande eau pendant 15 minutes. Retirer les vêtements souillés. Si des lésions cutanées apparaissent ou si la contamination est étendue ou prolongée, consulter un médecin.

- En cas de projection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau ou au sérum physiologique pendant 15 minutes. Dans tous les cas, consulter ensuite un ophtalmologiste qui doit être prévenu de l'aspect trompeur des lésions à un stade précoce.

- En cas d'inhalation massive de vapeurs ou aérosols, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires ; le faire transférer en milieu hospitalier par ambulance médicalisée. En attendant les secours, déshabiller la victime et commencer une décontamination cutanée et oculaire soignée. Mettre en œuvre, s'il y a lieu, des manœuvres de réanimation. Une surveillance médicale prolongée est toujours nécessaire.

- En cas d'ingestion, quelles que soient la quantité et la concentration du produit, ne pas tenter de faire vomir. Faire hospitaliser la victime dans les plus brefs délais en milieu de réanimation par une ambulance médicalisée.

## BIBLIOGRAPHIE

1. KIRK-OTHMER – Encyclopedia of chemical technology. *New York, John Wiley and sons, 1994, vol. 11, pp. 929-947.*
2. IUCLID Dataset – Formaldehyde – European Commission – European Chemicals Bureau, 2000. Consultable sur le site <http://ecb.jrc.it>.
3. Formaldéhyde – OECD – SIDS, Initial assessment report – UNEP publications, 2002. Consultable sur le site <http://www.chem.unep.ch/irptc/sids/oecdsids/sidspub.html>.
4. The Merck Index, 13<sup>e</sup> ed., Budavari. *Merck and Co, 2001, p. 4261.*
5. Formaldehyde (2003) – In : Base de données HSDB. Consultable sur le site <http://toxnet.nlm.nih.gov>.
6. MORANDINI M.T. and MABERTI S. – Aldehydes and acetals. In : *Patty's Toxicology, 5<sup>e</sup> éd., vol. 5, Ed. Eula Bingham, Cochrssen Barbara, and Powell Charles P. John Wiley and Sons, 2001, pp. 979-989.*
7. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. *Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 1995, vol. 65, pp. 217-243.*
8. Formaldehyde (123). The Nordic expert group for criteria documentation of health risks from chemicals and the Dutch expert committee on occupational standards. National Institute for Working Life. *Stockholm, Sweden, 2003. Consultable sur le site http://www.arbetslivsinstitutet.se/publikationer/en/*
9. Formaldehyde. CICADS 40. International Programme on Chemical Safety (IPCS). *OMS, Genève, Suisse, 2002.*
10. Formaldehyde. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. *Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 2006, vol. 88 : 39-324.*
11. FRANKS S.J. – A mathematical model for the absorption and metabolism of formaldehyde vapour by humans. *Toxicol Appl Pharmacol, 2005 ; 206 : 309-320.*
12. MAURER J.K. et al. – Pathology of ocular irritation with acetone, cyclohexanol, parafluoroaniline, and formaldehyde in the rabbit low-volume eye test. *Toxicol Pathol., 2001 ; 29(2):187-99.*
13. BASKETTER D.A. et al. – Human potency predictions for aldehydes using the local lymph node assay. *Contact Dermatitis, 2001, 45-89.*
14. Formaldéhyde. Rapport d'évaluation. Environnement Canada & Santé Canada, Ottawa, 2001. Consultable sur le site [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/formaldehyde/index\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/formaldehyde/index_f.html).
15. SAILLENFAIT A.M. et al. – The effects of maternally inhaled formaldehyde on embryonal and foetal development in rats. *Food Chem. Toxicol. 1989, 27 : 545-548.*
16. HECK H d'A. et al. – Pharmacodynamics of formaldehyde : applications of a model for the arrest of DNA replication by DNA-protein crosslinks. *Toxicol. Appl. Pharmacol., 1999, 160 : 86-100.*
17. CONOLLY R.B. et al. – Human respiratory tract cancer risks of inhaled formaldehyde: dose-response predictions derived from biologically-motivated computational modeling of a combined rodent and human dataset. *Toxicol. Sci. 2004 ; 82(1):279-96.*
18. MONTICELLO T.M. et al. – Correlation of regional and nonlinear formaldehyde-induced nasal cancer with proliferating populations of cells. *Cancer Research, 1996 ; 56 : 1012-1022.*
19. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. *Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 2004, 88, pp. 2-9.*
20. GRANT M.W. – Toxicology of the eye. *Springfield, Charles C. Thomas, 3<sup>rd</sup> edition, 1986, pp. 442-446.*
21. Report of federal pannel on formaldehyde. *Envir. Res., 1982, 43, pp. 139-168.*
22. SCHACHTER E.N. et coll. – A study of respiratory effects from exposure to 2 ppm formaldehyde in healthy subjects. *Arch. Environ. Health, 1986, 41, pp. 229-239.*
23. CHATAIGNER D. – Aldéhydes et acétals. In : BISMUTH C. et coll. (5<sup>e</sup> éd.) – Toxicologie clinique. *Flammarion, 2000, pp. 897-900.*
24. BENDER J.R. et coll. – Eye irritation response of humans to formaldehyde. *Am Ind. Assoc. J., 1983, 44, pp. 463-465.*
25. HARVING H. et coll. – Low concentrations of formaldehyde in bronchial asthma : a study of exposure under controlled conditions. *Brit. Med. J., 1986, pp. 293-310.*
26. MAIN D.M., HOGAN T.J. – Health effects of low-level exposure to formaldehyde. *J. Occup. Med., 1983, 25, pp. 896-900.*
27. KILBURN K.H. et coll. – Pulmonary and neurobehavioral effects of formaldehyde exposure. *Arch. Environ. Health, 1985, 40, pp. 254-260.*
28. KILBURN K.H., WARSHAW R., THORNTON J.-C. – Formaldehyde impairs memory, equilibrium and dexterity in histology technicians: effects which persist for days after exposure. *Arch. Environ. Health, 1987, 42, pp. 117-120.*
29. SAUREL-CUBIZOLLES M.J. et coll. – Neuropsychological symptoms and occupational exposure to anaesthetics. *B J I M, 1992, 49, 4, pp. 276-281.*
30. Norme française NF X 43-264 – Air des lieux de travail. Prélèvement et dosage des aldéhydes. *AFNOR. Février 2002.*
31. Base de données Metropol. Métrologie des polluants. Fiche 001. Mise à jour 15/09/05. INRS. Consultable sur le site <http://www.inrs.fr>.
32. NIOSH. Manual of analytical methods. Méthode 2016. 15 mars 2003. Consultable sur le site <http://www.cdc.gov/niosh/nmam>.
33. OSHA. Méthode colorimétrique ID-205. Décembre 1990. Badge 3M Modèle 3721. Consultable sur le site <http://www.osha-slc.gov/dts/sltc/methods>.
34. HSE. Badge GMD. Méthode MDHS 78. Mai 1994. Consultable sur le site <http://www.hse.gov.uk/pubns/mdhs>.
35. FORSBERG K. et MANSDORF S.Z. – Quick selection guide to chemical protective clothing. *New York, John Wiley & sons, 4<sup>e</sup> éd., 2002.*
36. Base de données BIOTOX. Consultable sur le site <http://www.inrs.fr>.
37. Cuves et réservoirs – Recommandation CNAM R 276. INRS.







Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
30, rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14 • Tél. 01 40 44 30 00 • Fax 01 40 44 30 99 • Internet : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • e-mail : [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)