



## Les ateliers de moulage de pièces en alliages d'aluminium

Hygiène et sécurité

## L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

Dans le domaine de la prévention des risques professionnels, l'INRS est un organisme scientifique et technique qui travaille, au plan institutionnel, avec la CNAM, les Carsat, Cramif, CGSS et plus ponctuellement pour les services de l'État ainsi que pour tout autre organisme s'occupant de prévention des risques professionnels.

Il développe un ensemble de savoir-faire pluridisciplinaires qu'il met à la disposition de tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, médecin du travail, instances représentatives du personnel, salariés. Face à la complexité des problèmes, l'Institut dispose de compétences scientifiques, techniques et médicales couvrant une très grande variété de disciplines, toutes au service de la maîtrise des risques professionnels.

Ainsi, l'INRS élabore et diffuse des documents intéressant l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, sites Internet... Les publications de l'INRS sont diffusées par les Carsat. Pour les obtenir, adressez-vous au service Prévention de la caisse régionale ou de la caisse générale de votre circonscription, dont l'adresse est mentionnée en fin de brochure.

L'INRS est une association sans but lucratif (loi 1901) constituée sous l'égide de la CNAM et soumise au contrôle financier de l'État. Géré par un conseil d'administration constitué à parité d'un collègue représentant les employeurs et d'un collègue représentant les salariés, il est présidé alternativement par un représentant de chacun des deux collèges. Son financement est assuré en quasi-totalité par la CNAM sur le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

## Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail, la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France et les caisses générales de sécurité sociale disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ils sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Ils assurent la mise à disposition de tous les documents édités par l'INRS.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.  
Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle).  
La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

# Les ateliers de moulage de pièces en alliages d'aluminium

## Hygiène et sécurité

Bruno Courtois

**Ce document a été rédigé par un groupe de travail constitué de :**

F. BLANCHARD (CRAM Ile-de-France),  
B. COURTOIS (INRS Paris),  
C. ROBIN (Carsat Rhône-Alpes),  
sous la coordination de B. COURTOIS.

**Ont également participé :**

J. GILLOT (CRAM Ile-de-France),  
M. APTEL (INRS Nancy),  
J. JACQUES (INRS Paris),  
J. TRIOLET (INRS Paris).

**Nous remercions pour leur aide :**

- les fonderies :
  - Anelli à Montreuil (93),
  - Florence et Peillon à Vaux-en-Velin (69),
  - Honsel à Bondoufle (91),
  - MAP Genas (69),
- le Centre technique des industries de fonderies,
- l'Union des fondeurs du Sud-Est.

# Sommaire

## Introduction ..... 5

## 1 / Généralités ..... 6

- 1.1 Organisation du document ..... 7
- 1.2 Risques généraux ..... 7
- 1.3 Risques propres au métal ..... 8
- 1.4 Démarche générale de prévention des risques liés aux machines ..... 8

## 2 / Mesures organisationnelles ..... 11

- 2.1 Généralités ..... 12
- 2.2 Circulation ..... 12
  - 2.2.1 Circulation des piétons ..... 12
  - 2.2.2 Circulation des véhicules ..... 12
- 2.3 Gestion des flux d'information ..... 12
- 2.4 Maintenance ..... 13
  - 2.4.1 Généralités ..... 13
  - 2.4.2 Contrôle et maintenance des moyens de manutention ..... 13
  - 2.4.3 Contrôle et maintenance des fours ..... 13
- 2.5 Formation ..... 14
- 2.6 Organisation des secours ..... 14
  - 2.6.1 Premiers secours ..... 14
  - 2.6.2 Lutte contre l'incendie ..... 15
  - 2.6.3 Équipe de première intervention ..... 15

## 3 / Conception et entretien des bâtiments ..... 16

- 3.1 Généralités ..... 17
- 3.2 Implantation ..... 17
- 3.3 Génie civil ..... 17
  - 3.3.1 Données de base ..... 17
  - 3.3.2 Fosses de fours, galeries techniques ..... 17
- 3.4 Bâtiments ..... 17
  - 3.4.1 Structures porteuses ..... 17
  - 3.4.2 Toitures, façades et sols ..... 18
- 3.5 Réseaux de fluides ..... 18
  - 3.5.1 Données de base ..... 18
  - 3.5.2 Gaz naturel ..... 18

- 3.5.3 Fioul ..... 19
- 3.5.4 Gaz de procédé (azote, argon) ..... 19
- 3.5.5 Air comprimé ..... 19
- 3.5.6 Eau de procédé ..... 19
- 3.5.7 Électricité ..... 19

- 3.6 Ambiance de travail ..... 21
  - 3.6.1 Ventilation, assainissement de l'atmosphère de travail et ambiance thermique ..... 21
  - 3.6.2 Bruit ..... 22
  - 3.6.3 Éclairage ..... 23

## 4 / Phases de production ..... 24

- 4.1 Préparation des charges ..... 25
  - 4.1.1 Généralités ..... 25
  - 4.1.2 Équipements ..... 25
  - 4.1.3 Risques et prévention ..... 25
- 4.2 Fusion et élaboration du métal, transfert ..... 26
  - 4.2.1 Généralités ..... 26
  - 4.2.2 Équipements ..... 26
  - 4.2.3 Risques et prévention ..... 27
- 4.3 Préparation des moules ..... 34
  - 4.3.1 Généralités ..... 34
  - 4.3.2 Moules permanents ..... 34
  - 4.3.3 Moules destructibles ..... 35
- 4.4 Coulée ..... 44
  - 4.4.1 Généralités ..... 44
  - 4.4.2 Technologie ..... 44
  - 4.4.3 Risques et prévention ..... 46
- 4.5 Décochage des moules en sable ..... 53
  - 4.5.1 Aspects techniques ..... 53
  - 4.5.2 Risques et prévention ..... 54
- 4.6 Parachèvement ..... 54
  - 4.6.1 Généralités ..... 54
  - 4.6.2 Équipements ..... 54
  - 4.6.3 Risques et prévention ..... 56

## Annexes ..... 60

- 1. Les équipements de protection individuelle en présence d'aluminium liquide ..... 61
- 2. Toxicité de l'aluminium et valeurs limites ..... 63
- 3. Principales maladies professionnelles possibles en fonderie ..... 64
- 4. Glossaire ..... 66
- 5. Bibliographie ..... 68



# Introduction

*La production française de pièces en alliages d'aluminium représente environ 300 000 tonnes par an. La moitié de cette production est destinée à l'industrie automobile. Cette activité occupe plusieurs milliers de personnes qui sont exposées à des risques multiples susceptibles d'entraîner des atteintes graves à leur santé.*

*Les entreprises plus particulièrement visées par ce document sont les PME réalisant des petites, moyennes ou grandes séries, pour les différents secteurs industriels (automobile, électroménager...).*

*Cette brochure constitue un document de synthèse dont le but est de présenter les principaux risques rencontrés dans les fonderies d'aluminium et les mesures de prévention adaptées.*

*L'organisation du document est calquée sur l'enchaînement des opérations qui permettent d'obtenir des pièces en alliages d'aluminium par moulage.*

# 1 // Généralités

## 1.1 Organisation du document

La première partie traite des mesures d'organisation (gestion des flux, maintenance, formation, organisation des secours) qui sont nécessaires pour permettre une maîtrise pérenne des risques.

Les bâtiments qui abritent les installations et matériels de fonderie doivent être conçus et réalisés selon des critères permettant de réduire les risques, ceci fait l'objet de la deuxième partie.

La production de pièces par moulage nécessite plusieurs étapes que nous décrivons rapidement avant de nous intéresser aux principaux risques rencontrés dans la profession. Ces principales étapes sont :

- la préparation des charges\*,
- la fusion, l'élaboration\* et le transfert de l'alliage liquide,
- la préparation des moules,
- la coulée,
- le parachèvement\*.

Les caractéristiques technologiques de ces grandes phases ainsi que les risques associés et les moyens de prévention adaptés sont décrits dans des parties spécifiques.

## 1.2 Risques généraux

Le secteur des fonderies d'aluminium présente des indices de fréquence et taux de gravité significativement plus élevés que ceux de la métallurgie en général. La mise en œuvre de ce métal liquide est à l'origine d'accidents graves. Ceux-ci résultent de débordements, de versements accidentels ou de projections explosives susceptibles de se produire lors de contacts aluminium/eau. L'état des connaissances concernant ce risque fait l'objet du § 1.3.

La présence de surfaces à température élevée accessibles, des flammes des brûleurs, de l'aluminium liquide et de produits solides encore chauds entraîne également des risques de brûlures à de nombreux postes de travail.

Outre les projections d'aluminium liquide, le risque chimique peut se présenter sous la forme de :

- risques d'incendie ou d'explosion dus à la mise en œuvre des combustibles liquides ou gazeux et à la présence de sources d'inflammation,

- risques d'intoxication dus à d'éventuelles émissions de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère, sous forme solide (poussières), liquide (aérosols) ou gazeuse ; en particulier, l'inhalation de poussières de silice cristalline peut conduire à des pathologies reconnues comme maladies professionnelles (silicose, tableau n°25) (voir encadré 7).

Enfin, comme dans toute industrie, les risques suivants sont également présents :

- risques liés aux manutentions, cause d'accidents du travail mais aussi d'affections lombaires chroniques reconnues comme maladies professionnelles (tableau n° 98),
- risques de chute de plain-pied,
- risques de chute de hauteur dus notamment à la présence de fosses et de postes de travail en hauteur ; les conséquences peuvent être aggravées par la présence des autres risques,
- risques mécaniques (cisaillement, coupure, écrasement ou heurt d'objet) présents partout où coexistent, même temporairement, des salariés avec des parties d'installation mobiles ; ces risques sont particulièrement présents lors de l'utilisation de dispositifs mécaniques automatisés pendant les phases de coulée et de parachèvement\* mais aussi en maintenance ou dépannage,
- risques dus aux bruits ; la surdité est reconnue chaque année comme maladie professionnelle (tableau n°42),
- risques d'électrisation et d'électrocution,
- risques de troubles musculo-squelettiques aux postes de finition des noyaux\* et de parachèvement\* ; ces troubles représentent une large majorité des maladies professionnelles actuellement reconnues en France (tableau n° 57) (voir encadré 10),
- risques dus aux vibrations mécaniques (tableaux n° 69 et 97) (voir encadré 9).

Il est à noter que le traitement rapide des incidents de production, nécessaire pour le maintien de l'équilibre thermique des moules, augmente les risques.

\* L'astérisque indique que le mot est défini dans le glossaire à la fin de la publication.

### 1.3 Risques propres au métal

De nombreux cas concrets de projections explosives plus ou moins violentes sont signalés dans les fonderies d'aluminium. Ces projections explosives, qui se produisent lorsque du métal liquide parvient au contact de l'eau de façon intempestive, peuvent avoir deux origines :

- des phénomènes purement physiques, dus à la vaporisation instantanée d'eau, qui provoquent des projections vives de masses de métal liquide à quelques mètres des installations et exposent ainsi les salariés à un risque de brûlures graves,
- dans des cas plus rares, des explosions très violentes, comparables, d'après leurs effets, à celles de plusieurs kilogrammes de TNT, dues à des phénomènes physico-chimiques plus complexes ; ce type d'explosion a conduit à des accidents dramatiques surtout dans des usines d'élaboration\* ou d'affinage d'alliages d'aluminium.

Le mécanisme physique des explosions peut être décrit à partir d'un exemple : celui du chargement d'un lingot\* humide dans un pied de bain\* de métal liquide.

Le lingot humide, stocké à l'extérieur par exemple, retient en son coeur de l'humidité symbolisée par une goutte d'eau de la taille d'une bille (voir schéma ci-dessous).

Le lingot\* est immergé dans le bain de métal en fusion. Instantanément, la fissure par laquelle s'est introduite l'humidité est bouchée par de

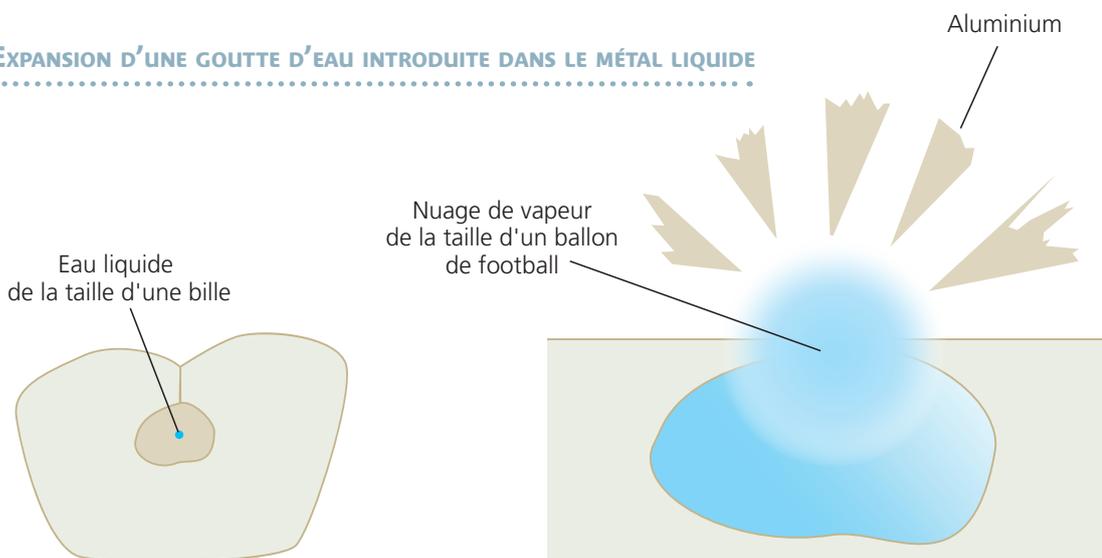
l'aluminium. L'eau va s'échauffer et se transformer en vapeur. A l'air libre, cette transformation liquide/vapeur se ferait avec une augmentation de volume d'un facteur 1700 ! Autrement dit, la goutte d'eau de la taille d'une bille deviendrait un nuage de vapeur de la taille d'un ballon de football. Dans cet exemple, le nuage de vapeur ne peut se développer. La pression à l'intérieur de la cavité va augmenter et chercher à vaincre la résistance mécanique du lingot\*. Les forces de pression demeurent toujours les mêmes, mais le lingot\* s'échauffe et sa résistance mécanique diminue. Il va bientôt céder sous la pression.

Le dégagement violent de la vapeur produit une explosion pouvant tuer ou blesser et détruire le four. Il s'est écoulé quelques minutes entre le chargement et l'explosion.

### 1.4 Démarche générale de prévention des risques liés aux machines

Les ateliers de fonderies comportent de nombreux équipements comportant des éléments mobiles qui peuvent être sous le contrôle direct d'un opérateur ou au contraire fonctionner d'une façon automatisée. Ceux-ci entraînent des risques pour les salariés qui sont amenés à intervenir même temporairement à leur proximité. La démarche générale proposée dans l'encadré 1 a pour objectif de permettre la maîtrise de ces risques.

#### EXPANSION D'UNE GOUTTE D'EAU INTRODUITE DANS LE MÉTAL LIQUIDE



## ENCADRÉ 1

**Démarche générale de prévention**

Concevoir les lieux de travail et organiser les activités de façon à éviter :

- ▶ les circulations de personnel dans les aires de circulation des engins de manutention automatisés ou d'engins n'offrant pas toute garantie de visibilité au conducteur.
  - Par exemple, par la mise en place de passerelles, de passages souterrains.
- ▶ de faire passer des engins mobiles auprès d'obstacles fixes constitutifs du bâtiment ou de parties d'équipements de travail.
  - Par exemple, par mise en place d'une distance suffisante entre obstacles fixes et châssis engins ou par mise en place de boucliers sensibles de longueur suffisante.

Traiter par la technique puis par l'organisation les points précédents non supprimés ou insuffisamment maîtrisés (passages type passage à niveau avec détection de franchissement de personnes, boucliers sensibles...).

Traiter les machines et équipements de travail dans l'ordre de préférence suivant, en :



## Risques liés aux fibres d'isolation des fours

Les opérations de maintenance sur les fours peuvent entraîner une exposition des opérateurs à des fibres servant à leur isolation. Les dangers pour la santé dépendent de la nature des fibres. Les différents types de fibres et laines pouvant avoir été utilisées pour l'isolation des fours sont :

- les laines d'isolation haute température,
- les fibres céramiques réfractaires\*,
- les fibres d'amiante pour les fours fabriqués avant 1997.

**Les laines d'isolation haute température** n'entrent pas dans la catégorie des fibres céramiques réfractaires\* mais dans celle des laines minérales, elles peuvent répondre à des utilisations industrielles jusqu'à des températures de l'ordre de 1000°C. Les laines minérales sont classées cancérogènes\* de catégorie 2 (substances suspectées d'être cancérogènes\* pour l'homme) sauf si leur composition leur permet d'être facilement éliminées par l'organisme. Les interventions sur des fours isolés avec ce type de laine nécessitent malgré tout des mesures de prévention, notamment au niveau respiratoire ; celles-ci sont détaillées dans le document ED 93.

**Les fibres céramiques réfractaires\* (FCR)** sont classées comme cancérogènes\* de catégorie 1B (substances présumées cancérogènes\* pour l'homme). Elles sont étiquetées avec le pictogramme « danger pour la santé » et la mention de danger H350i « peut provoquer le cancer par inhalation ».

La réglementation sur les substances cancérogènes\*, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (voir Code du travail R 4412-59 à R 4412-93) impose la substitution de ces produits par d'autres moins dangereux, chaque fois que cela est techniquement possible. Les fours utilisés dans les fonderies d'aluminium ne nécessitent pas l'utilisation de ce type de fibres conçues pour résister à des températures supérieures à 1000°C. Elles ne devraient donc plus être utilisées actuellement dans ces types de fours. Les interventions sur des fours contenant des fibres céramiques réfractaires nécessitent des mesures de préventions particulières ; les principales sont :

- isoler et calfeutrer la zone d'intervention,
- mettre en place un confinement statique (pose de films en matière plastique),
- nettoyer le poste de travail préalablement à l'intervention avec un aspirateur équipé d'un filtre absolu,
- utiliser des boîtes à gants lorsque cela est matériellement possible,
- installer une ventilation locale par captage des poussières à la source lorsque cela est possible,
- travailler à l'humide si cela est techniquement possible,
- utiliser des outils manuels ou des outils électriques à vitesse lente en captant les fibres et poussières avec un aspirateur équipé d'un filtre absolu. Les outils électriques portatifs doivent être munis de systèmes de captage intégrés et équipés de filtres absolus,
- éviter l'utilisation de fibres en vrac en privilégiant les produits à façon, prédécoupés et/ou encapsulés, les blocs emballés ou les matériaux revêtus sur la surface externe,
- trier et conditionner dans des sacs fermés, étanches et étiquetés les déchets de FCR. Les envoyer dans une installation de stockage des déchets dangereux de classe 1 ou en centre d'inertage,
- nettoyer régulièrement le poste de travail par voie humide. Ne jamais balayer ou utiliser la soufflette. Utiliser un aspirateur équipé d'un filtre absolu,
- à la fin du chantier, dépoussiérer et nettoyer les surfaces de travail et les outils à l'aide de l'aspirateur équipé d'un filtre absolu,
- équiper les opérateurs de combinaisons jetables à capuche de type 5, de gants, de lunettes et, si la protection collective est insuffisante, d'appareils de protection respiratoire équipés de filtre P3,
- respecter les interdictions de manger et de boire sur le poste de travail,
- se doucher et se savonner en fin de poste,
- ranger les vêtements de travail séparément des autres vêtements et ne pas les rapporter au domicile.

**Les interventions sur des fours contenant de l'amiante nécessitent le respect de règles spécifiques fixées par la réglementation (voir ED 6091 et ED 6262).**

# 2 // Mesures organisationnelles

## 2.1 Généralités

L'obtention d'un bon niveau de sécurité et son maintien au cours du temps nécessitent une gestion de la sécurité par l'entreprise sur la base des trois éléments suivants :

- une politique officielle connue de tous, définissant des objectifs clairs et mesurables,
- des outils (information, formation, procédures, analyse des accidents et incidents,...) et des indicateurs,
- un contrôle du bon fonctionnement du système et une organisation facilitant l'amélioration continue.

L'évaluation a priori des risques est un élément essentiel qui permet de décider des mesures de prévention à mettre en place. La brochure ED 840 propose une démarche pour l'évaluation des risques.

Le service méthode a une importance toute particulière dans le domaine de la sécurité par le fait qu'il organise la façon dont les tâches sont effectuées au niveau de la production. C'est préférentiellement à ce stade que la sécurité lors des différentes opérations doit être intégrée.

## 2.2 Circulation

La circulation dans l'entreprise engendre deux risques principaux :

- les collisions, notamment entre piétons et chariots automoteurs,
- les heurts et chutes, principalement sur les parcours piétonniers.

Une analyse préalable des flux de circulation doit être réalisée. Les voies de circulation doivent être implantées de telle façon que les piétons ou les véhicules puissent les utiliser facilement et en toute sécurité. L'INRS propose une méthode d'analyse de la circulation dans l'entreprise (voir ED 950). La séparation des flux de piétons et de véhicules permet de réduire les risques de collision.

### 2.2.1 Circulation des piétons

La séparation des piétons et des véhicules sera notamment matérialisée par :

- la protection des passages réservés aux piétons,
- des portes piétonnes distinctes des passages réservés aux véhicules,
- le marquage au sol et la signalisation des circuits.

De plus, afin de limiter le risque de brûlure lié aux installations de fonderie, les allées de circulation réservées aux piétons devront éviter les zones où peut se trouver du métal liquide. En cas d'impossibilité, des écrans de protection devront être installés pour protéger les salariés d'éventuelles projections de métal liquide.

Enfin, il convient :

- d'éviter les obstacles sur les parcours : éléments de machines dépassant dans les allées (en statique ou en dynamique), obstacles au sol ou près du sol (canalisations, tuyaux flexibles, caillebotis...),
- de prévoir des emplacements suffisants dans l'atelier pour les stocks intermédiaires, les bennes à déchets ou à crasses\* et les chariots en attente, de façon à ne pas encombrer les allées réservées à la circulation piétonne,
- de soigner particulièrement les sols sur ces parcours en utilisant des revêtements résistants et antidérapants, faciles d'entretien et homogènes tout au long des parcours à suivre.

### 2.2.2 Circulation des véhicules

Les dimensions des emplacements et des allées de circulation doivent être calculées en tenant compte des règles qui imposent un passage latéral de 50 cm de chaque côté de l'engin ou de sa charge maximale et un intervalle de 40 cm entre deux engins chargés susceptibles de se croiser (voir ED 975).

Les voies de circulation, les aires d'évolution et les carrefours doivent faire l'objet d'un marquage. Des miroirs peuvent compléter avantageusement le dispositif.

## 2.3 Gestion des flux d'information

La fiabilité de la transmission de l'information dans l'entreprise est essentielle pour la sécurité. On peut en particulier citer les transmissions entre :

- les équipes lors des changements de postes,
- les équipes de production et le service méthode,
- les équipes de production et le service de maintenance,
- les équipes de production et le laboratoire d'analyse.

Des modes opératoires organisant la circulation et la transmission fiable de l'information doivent être mis en place. Dans le cas de l'utilisation d'un système de supervision, les réseaux devront être protégés contre les agressions dues à l'environnement (chaleur, poussières...).

## 2.4 Maintenance

### 2.4.1 Généralités

Pour assurer la sécurité et la santé des salariés tout au long de l'exploitation des installations, les équipements doivent faire l'objet d'une maintenance et les ateliers être tenus dans un bon état de propreté. Un premier niveau de maintenance est généralement réalisé par les salariés de production, les interventions de second niveau étant réalisées par le service de maintenance de l'entreprise ou par des entreprises extérieures. L'organisation de la maintenance avec plusieurs niveaux d'intervention nécessite une définition claire des opérations qui doivent être réalisées par chacun. Une formation des salariés à la maintenance de premier niveau doit être assurée.

Les personnels intervenant en maintenance sont exposés aux risques liés aux équipements et produits chimiques utilisés. Leur exposition peut souvent être plus importante que celle des opérateurs de production du fait qu'ils doivent intervenir au cœur des équipements, parfois en étant obligés de mettre hors service des dispositifs de sécurité et

souvent dans un contexte d'urgence. La planification d'opérations de maintenance préventive permet de réduire le nombre d'interventions en urgence.

Toute action sur un système automatique peut avoir des conséquences, éventuellement différées, sur la sécurité des opérateurs ou autres intervenants. L'information et la formation des personnes sur les équipements et les produits chimiques, ainsi que la mise en place d'instructions et procédures d'intervention permettent de limiter les risques. En particulier, des procédures de consignation et de déconsignation rigoureuses et adaptées doivent être utilisées (voir ED 6109).

Pour les particularités inhérentes aux installations complexes, il est possible de se reporter à l'encadré 11 qui traite des chantiers de moulage.

L'organisation de la maintenance dans une fonderie d'aluminium a fait l'objet d'une étude de l'INRS (voir NS 182).

### 2.4.2 Contrôle et maintenance des moyens de manutention

Pour les ponts roulants, une liste des contrôles est donnée dans la brochure ED 6105 ; la liste des opérations d'entretien est précisée dans la notice du fournisseur.

Pour les chariots automoteurs, les opérations d'entretien sont définies dans la notice du constructeur. Elles doivent être effectuées de préférence dans des ateliers aménagés à l'extérieur de la fonderie.

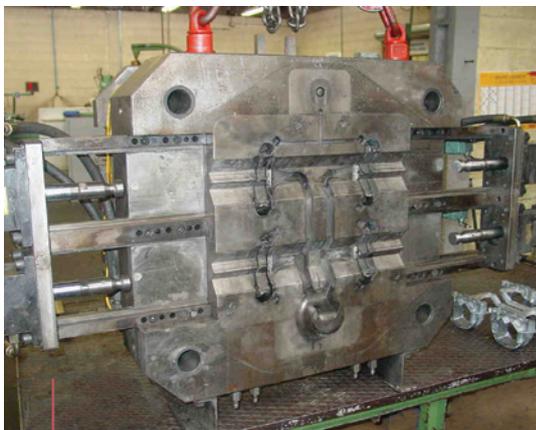
### 2.4.3 Contrôle et maintenance des fours

La maintenance porte principalement sur l'entretien préventif complété par des examens périodiques des installations.

L'entretien préventif concerne systématiquement, selon des modes opératoires préétablis, tous les éléments techniques tels que les brûleurs, les ventilateurs, les inducteurs, les ensembles hydrauliques, les organes de commande, de mesures et de sécurité.

Les examens périodiques, qui doivent déclencher des opérations de maintenance adaptées, permettent de :

- surveiller la dégradation éventuelle du réfractaire\* (depuis un simple examen visuel jusqu'au mesurage précis des températures de parois),



Moule pour le moulage sous pression dans un atelier de maintenance

© Florence & Peillon

- déclencher le nettoyage éventuel de la fosse accueillant le four où des coulures\* accidentelles de métal en fusion ont pu se répandre,
- prendre en compte les anomalies décelées lors de la conduite du four.

Dans le cas particulier des fours à creuset\*, les creusets\* en fonctionnement doivent faire l'objet de changements soit systématiques (sur la base de la durée d'utilisation) soit après examen visuel. Des contrôles périodiques des éléments de pyrométrie et d'isolement électrique doivent être effectués. Les creusets\* métalliques ou les gaines métalliques de protection des thermocouples\* doivent être nettoyés et poteyés à fréquence déterminée. Un contrôle visuel de l'état du réfractaire\* ainsi que des suivis de consommation d'énergie doivent être réalisés périodiquement.

Dans le cas particulier des fours à induction, le suivi des paramètres de fonctionnement peut renseigner sur l'état d'usure des réfractaires\*. Il permet de dépister les dérives et agir avant un incident grave. L'inducteur et les circuits d'eau doivent subir une visite périodique. Il convient également de vérifier très souvent les contacteurs en tenant compte des prescriptions des constructeurs. Pour les fours à induction à creuset\*, le brassage\* permanent du bain de métal occasionne un dépôt de crasses\* localisé sur deux anneaux qui doivent être enlevés. Après ragréage éventuel, on applique un enduit de protection qui obstrue les porosités.

## 2.5 Formation

La formation et la sensibilisation des salariés aux risques et aux moyens de les prévenir revêtent une grande importance.

Ces actions doivent concerner toutes les personnes intervenant dans l'atelier, particulièrement les nouveaux embauchés et les travailleurs temporaires. Les bonnes pratiques dans le domaine de la sécurité évoluent et ne doivent jamais être considérées comme définitivement acquises, ce qui implique de renouveler régulièrement des actions de formation et de sensibilisation.

La formation à la sécurité doit comprendre un volet sur les risques généraux de l'entreprise et une partie sur ceux spécifiques au poste de travail. Elle doit être essentiellement pratique, comporter

des démonstrations, préciser la bonne utilisation des moyens mis à la disposition des salariés et les limites de leur champ d'intervention. La formation des opérateurs doit également porter sur la détection et le signalement précoce des anomalies pouvant compromettre la production, la qualité ou la sécurité. On fera plus particulièrement attention à la formation des techniciens de maintenance qui doivent être capables d'apprécier et d'anticiper les risques liés au comportement possible des systèmes sur lesquels ils interviennent.

L'objectif de ces formations est de faire correspondre les connaissances des salariés avec les exigences des postes et avec leurs évolutions prévisibles.

## 2.6 Organisation des secours

### 2.6.1 Premiers secours

Différents risques existent dans les fonderies, en particulier celui de brûlure. Des moyens de premiers secours doivent donc être prévus. Dans les ateliers, il doit y avoir à tout moment au moins un membre du personnel formé au sauvetage-secourisme du travail et connaissant la conduite à tenir en cas de brûlure. Ces secouristes feront l'objet d'un recyclage régulier.

Les moyens de premiers secours doivent être :

- proches des zones de risque,
- clairement identifiables,
- facilement et rapidement accessibles.

Dès qu'il y a brûlure thermique, il faut un refroidissement prolongé par l'eau. Différents procédés de refroidissement à l'eau permettent d'effectuer les premiers secours.

Parmi ceux-ci, les plus courants sont :

- des douches de sécurité, distribuant une eau à une température de 20-25°C pendant 15 à 20 minutes de préférence avec des rampes latérales assurant une aspersion de l'ensemble du corps, les jets ne devant pas être violents ; la température de distribution initiale ne doit en aucun cas être inférieure à 20°C, de manière à éviter la survenue d'un état de choc hypothermique chez l'accidenté ; les commandes d'ouverture et de maintien de l'aspersion peuvent

être de différents types (commandes à main par palette ou tringle rigide, commandes au pied par plate-forme); certains modèles sont conçus de manière à ce que l'accidenté puisse être allongé sur une surface plane, la distribution de l'eau étant alors répartie sur l'ensemble du corps à l'aide de têtes ou de rampes d'aspersion,

- des douchettes autonomes portatives, permettant un arrosage immédiat de la victime mais le plus souvent insuffisant en cas de brûlure étendue ; leur usage bénéfique doit alors être complété par l'emploi des autres moyens de refroidissement (ou de décontamination en cas de projection de produits chimiques corrosifs) ; il conviendra de vérifier que leur utilisation ne risque pas de mettre en contact l'eau avec du métal liquide,
- des gels d'eau : des produits de tailles diverses (de la compresse à la couverture), recouverts d'un gel aqueux colloïdal, sont actuellement commercialisés ; ils permettent de refroidir efficacement des brûlures d'importances différentes et assurent une couverture de la zone atteinte limitant les risques d'infection.

Les moyens de premiers secours, qui doivent être mis en œuvre le plus rapidement possible afin d'éviter des complications majeures, seront accompagnés et suivis des gestes habituels de secourisme applicables dans ces circonstances. La prise en charge et l'évacuation de l'accidenté par un moyen médicalisé devront être organisées dans les meilleures conditions. Tous ces moyens doivent faire l'objet d'un suivi périodique.

### 2.6.2 Lutte contre l'incendie

En cas d'incendie, l'usage de l'eau est strictement prohibé dans toutes les zones où celle-ci pourrait atteindre du métal liquide présent normalement ou accidentellement.

Les moyens d'intervention recommandés sont :

- du sable sec ou de l'alumine si du métal liquide est impliqué,
- des extincteurs à dioxyde de carbone et des extincteurs à poudre polyvalente pour d'autres types d'incendie hors feux de poussières.

Des moyens et des procédures de surveillance doivent être mis en place pour s'assurer que :

- les services de secours sont bien informés des dangers particuliers encourus dans les fonderies ainsi que des méthodes spécifiques de lutte contre l'incendie dans ces établissements,
- le sable prévu pour combattre un éventuel incendie est maintenu sec,
- la coupure des installations en alimentation d'énergie, fluides et ventilation fonctionne correctement et peut se faire aisément.

Un système d'alarme doit être prévu en cas d'incendie. Ces signaux doivent être facilement audibles et reconnaissables depuis tous les postes concernés par l'alarme. Un plan d'évacuation doit exister et être connu de toutes les personnes présentes dans la fonderie.

Pour faciliter l'évacuation, diverses dispositions réglementaires doivent être appliquées ; en particulier, au rez-de-chaussée, les postes de travail doivent être situés à moins de 20 mètres d'une issue ou d'un local donnant directement sur l'extérieur. Des mesures compensatoires obligatoires doivent être prises en cas d'impossibilité (voir ED 970, ED 950 et TJ 20).

Le circuit d'évacuation doit être balisé et muni d'éclairages de sécurité ; un certain nombre de points de ralliement doivent être déterminés et indiqués lors de la formation sécurité.

Des exercices d'évacuation doivent être effectués régulièrement. Ils sont l'occasion de vérifier le bon fonctionnement des balisages et des alarmes, et de s'assurer que tout le personnel, y compris le personnel de maintenance et des sociétés intervenantes, connaît les consignes.

### 2.6.3 Équipe de première intervention

Dans les ateliers, il doit y avoir au moins une équipe de première intervention chargée d'attaquer un feu avant l'arrivée des pompiers. Ses membres doivent avoir reçu une formation spécifique, en particulier sur les moyens d'éteindre un feu en présence d'aluminium liquide.

# 3 // Conception et entretien des bâtiments

## 3.1 Généralités

La sécurité et la santé des salariés doivent être prises en compte dès la conception des lieux de travail et assurées tout au long de l'exploitation des installations, y compris lors de leurs modifications.

Globalement, la méthodologie et les étapes d'un projet de conception d'une fonderie d'aluminium sont les mêmes que celles d'un lieu de travail en général.

C'est pourquoi on se référera chaque fois que cela sera possible à la réglementation concernant les obligations des maîtres d'ouvrage et aux « principes généraux d'intégration de la sécurité lors de la conception des lieux de travail » (voir ED 950, ED 773). Concernant la protection de l'environnement, les dispositions de l'arrêté du 30 juin 1997 modifié relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2552 (Fonderie [fabrication de produits moulés] de métaux et alliages non ferreux) doivent être respectées.

Ce chapitre expose comment prendre en compte, à la conception de nouveaux bâtiments, les connaissances et les données essentielles de sécurité spécifiques, relatives aux phases de transformation de l'aluminium décrites dans le chapitre 4.

## 3.2 Implantation

La fonderie s'intègre dans le plan de masse général du site de production.

La donnée fondamentale à prendre en compte pour l'implantation est le diagramme général de fabrication. Ce diagramme indique les types de produits fabriqués, leurs quantités ainsi que les matières premières nécessaires.

L'étude de l'organisation des flux permet, par une implantation optimisée, d'assurer à la fois les objectifs de production et les objectifs de prévention des risques en limitant les interférences entre l'homme, les équipements fixes ou mobiles et les produits lors de chaque phase de transformation du métal.

## 3.3 Génie civil

### 3.3.1 Données de base

La réalisation des travaux de génie civil nécessite la connaissance de données de base :

- les données caractérisant le sol, le sous-sol et la nappe phréatique,
- la pression maximale de poinçonnement susceptible d'être appliquée sur les aires de stockage et/ou de circulation des engins.

### 3.3.2 Fosses de fours, galeries techniques

Les fosses de four doivent être dimensionnées de façon à présenter une capacité de rétention supérieure au contenu du four qu'elles accueilleront et conçues pour empêcher tout déversement dans les galeries techniques.

L'état de surface du béton employé pour les fosses de four doit permettre l'application d'un revêtement adapté à la prévention des risques de projections explosives d'aluminium liquide.

## 3.4 Bâtiments

### 3.4.1 Structures porteuses

Les bâtiments et chacun de leurs éléments doivent être dimensionnés pour résister à leur poids propre, aux surcharges correspondant à leur type d'utilisation, ainsi qu'aux charges climatiques telles que neige ou vent.

Le bâtiment doit être étudié en tenant compte des contraintes imposées par les moyens de manutention liés au sol ou aux structures. Il doit être capable d'accueillir non seulement les moyens de manutention mais aussi les passerelles fixes nécessaires pour assurer les opérations de contrôle, d'entretien et de dépannage de ces équipements et accessoires de manutention.

L'application d'un revêtement anticorrosion durable sur les charpentes métalliques (galvanisation avant montage par exemple) permet de limiter les interventions d'entretien donc les risques de chutes ultérieures.

Les dispositifs de protection contre les effets de la foudre doivent être conformes à la réglementation, en particulier aux textes émanant du Ministère de l'environnement (arrêté du 19 juillet 2011 et circulaire du 24 avril 2008).

### 3.4.2 Toitures, façades et sols

Compte tenu des risques de projections explosives d'aluminium liquide, on veillera à assurer et à maintenir l'étanchéité de la couverture vis-à-vis de l'eau de pluie. On choisira notamment des dispositifs ouvrants (exutoires de fumées, dispositifs de ventilation) s'opposant par conception de façon permanente aux pénétrations de pluie. Une protection sera prévue en périphérie des toits par garde-corps et acrotères, et l'accès aux toits sera assuré par des escaliers, à défaut par des échelles à crinolines avec paliers de repos décalés tous les 6 mètres.

Les bâtiments doivent être conçus et disposés de manière à ce que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux de travail (voir ED 773). L'intégration à la toiture d'éléments translucides (de résistance mécanique supérieure ou égale à 1200 joules) en quantité suffisante doit permettre d'assurer l'éclairage diurne autant que possible avec la lumière naturelle. Une grille sera installée en sous-face de chaque lanterneau; la fréquence de nettoyage de ces éléments translucides et les moyens nécessaires seront définis dans le DIUO\*.

Les locaux affectés au travail doivent comporter à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur (hauteur d'allège 1 m).

Le choix d'un type de couverture et de bardage avec isolation multifonction (acoustique et thermique) intégrée d'origine participe à l'amélioration des conditions de travail.

Les façades doivent comporter des portes distinctes pour le passage des engins et pour celui des piétons. On prévoira des portes munies de hublots offrant une visibilité dans les deux sens, afin de limiter les risques de collision ou d'écrasement.

Les sols doivent être exempts de bosses, de trous ou de plans inclinés dangereux; ils doivent être stables et non glissants.

## 3.5 Réseaux de fluides

### 3.5.1 Données de base

Dans une fonderie, seuls les fluides nécessaires au procédé doivent être distribués. L'application de ce principe doit être vérifiée par un examen approfondi et systématique de tous les réseaux de distribution et d'évacuation prévus.

Ne sont considérés ici que les fluides distribués par un réseau fixe lié aux bâtiments : combustibles (gaz et fioul), gaz de traitement (azote, argon), eau de procédé, électricité, air comprimé, fluide hydraulique. Un tel réseau de fluides comporte des éléments qui permettent d'assurer les fonctions d'alimentation, stockage, distribution, répartition et évacuation.

L'alimentation des différents équipements peut se faire par l'intermédiaire de bornes de distribution des fluides réparties dans l'atelier. Les canalisations et câbles qui alimentent ces bornes seront placés en dessous du sol de l'atelier dans des passages recouverts d'éléments mobiles. Une telle conception permet la réduction des risques de chute de plain-pied et une modularité des équipements en service (coquilleuses, fours de maintien...).

Un codage par couleurs conventionnelles permet l'identification des familles de fluides circulant dans les tuyauteries rigides. La norme NF X 08-100 donne le mode d'identification des tuyauteries rigide, voir également ED 88. Des marquages « en clair » au niveau des vannes et raccords d'utilisation complètent l'identification.

Les risques induits par la présence de ce réseau dans la fonderie peuvent être directs (incendie ou explosion liés aux fluides combustibles) ou indirects (explosion d'un four suite à une coupure de l'eau de procédé ou à une fuite sur le circuit de refroidissement).

### 3.5.2 Gaz naturel

La prévention doit porter principalement sur la suppression des possibilités de fuite et sur l'identification du réseau afin d'éviter les confusions ou sa destruction accidentelle. Pour ceci, il faudra prévoir :

- une conception privilégiant le passage des canalisations à l'extérieur des bâtiments,

- une peinture normalisée des installations contenant du gaz naturel et leur repérage,
- un programme d'entretien et de test périodique des vannes d'isolement,
- une procédure de permis de fouille pour éviter les destructions accidentelles.

La norme NF EN 746-2 définit les règles à appliquer pour la distribution de combustible à proximité des équipements de combustion.

### 3.5.3 Fioul

La prévention doit porter sur la limitation et la détection d'éventuelles fuites (détecteurs de niveau), ainsi que sur la mise en place de rétentions, notamment autour du stockage et de l'aire de dépotage. Il est également possible de se référer à la norme NF EN 746-2.



© Pierre Bérenger

Borne de distribution de fluides

### 3.5.4 Gaz de procédé (azote, argon)

La prévention du risque dû à ces gaz (essentiellement risque d'asphyxie par anoxie et brûlure par contact avec l'azote liquide), doit reposer sur la suppression des possibilités de fuite et sur l'identification du réseau. Pour ceci, on prévoira :

- un accès réservé aux installations d'alimentation,
- une identification claire et lisible des réseaux,
- un programme d'entretien et de vérifications des vannes,
- une procédure de consignation des installations.

### 3.5.5 Air comprimé

Les canalisations et postes de distribution seront identifiés par une peinture normalisée en prenant bien soin de différencier les réseaux 6/8 et 2/3 bars. Un programme de vérifications et d'entretien périodique sera prévu.

### 3.5.6 Eau de procédé

Maintenir la continuité d'alimentation en eau de procédé est essentiel pour éviter des accidents du type explosion d'aluminium liquide lors des phases d'élaboration\*.

Pour éviter d'éventuelles coupures d'alimentation, il faudra prévoir :

- un réservoir d'eau en charge d'une capacité suffisante pour terminer toute coulée engagée,
- le repérage des vannes et de leur sens de manœuvre,
- une identification claire et lisible des réseaux.

La prévention du risque de projection explosive due à un contact aluminium liquide/eau repose également sur :

- la protection systématique de toutes les canalisations en PVC,
- le passage des canalisations en dehors des zones à risque de déversement de métal liquide.

### 3.5.7 Électricité

Le maître d'ouvrage et l'entreprise doivent concevoir, réaliser et maintenir les installations électriques des lieux de travail selon les exigences réglementaires. On se référera à la brochure ED 6187.

## ENCADRÉ 3

### Les légionelles dans l'eau des systèmes de refroidissement

L'eau de refroidissement des fours peut être un milieu favorable au développement de certains micro-organismes et en particulier les légionelles. Ce sont des bactéries très répandues dans la nature en milieu humide. Elles peuvent coloniser des milieux hydriques artificiels, comme les systèmes de refroidissement par re-circulation d'eau, lorsque les conditions de leur développement sont réunies (elles prolifèrent lorsque la température de l'eau est comprise entre 25°C et 43°C et sont détruites au-delà de 50°C). Elles sont sensibles à de nombreux désinfectants (chlore...) et peuvent être également inactivées par des procédés physiques (choc thermique...).

**Pour qu'il y puisse y avoir contamination humaine**, il faut qu'il y ait inhalation d'un aérosol de fines gouttelettes (taille inférieure à 5 µm) formé à partir d'un milieu colonisé par des légionelles à un niveau suffisant de concentration. Une infection par les légionelles peut conduire à une légionellose qui se présente sous la forme d'une infection pulmonaire grave. Les personnes fragilisées sont plus susceptibles de contracter la maladie. Cependant une légionellose peut survenir chez des personnes n'ayant pas de facteur de risque particulier.

**La prévention du risque de légionellose** repose sur une bonne conception des équipements et un programme de maintenance et d'entretien approprié aux conditions d'exploitation, en particulier :

- adapter le traitement de l'eau à sa qualité; il peut être constitué, par exemple, d'inhibiteurs d'entartrage ou de corrosion, de bactéricides,
- mettre en place une surveillance bactériologique de l'eau,
- concevoir le système de refroidissement de telle sorte que l'eau ne puisse constituer d'aérosol,
- veiller à couvrir les réservoirs de stockage,
- repérer et supprimer les bras morts du réseau d'eau,
- utiliser des matériaux qui limitent la prolifération des légionelles,
- rendre accessibles les équipements nécessaires pour les interventions d'entretien et de maintenance.

Des informations complémentaires peuvent être obtenues dans le document TC 98.

## 3.6 Ambiance de travail

### 3.6.1 Ventilation, assainissement de l'atmosphère de travail et ambiance thermique

#### 3.6.1.1 Généralités

Les fonderies sont des locaux à pollution spécifique. Leur ventilation est donc nécessaire pour garantir l'aération et l'assainissement de l'air (voir TJ 5).

L'activité industrielle génère en effet, à l'intérieur de l'atelier, des émissions de gaz, de poussières et de fumées dangereuses pour la santé et la sécurité des salariés.

Les dispositifs de ventilation et d'assainissement de l'air doivent permettre de maintenir la concentration des divers polluants dans l'atmosphère du lieu de travail la plus faible possible et en deçà des valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques lorsqu'il en existe (voir ED 984).

Par ailleurs, ils doivent contribuer à éviter les élévations excessives de température, les odeurs et la stagnation des fumées dans le bâtiment et sous la toiture, ce qui réduit également le risque de corrosion des installations.

#### 3.6.1.2 Principes de ventilation

Le captage des polluants émis par les installations fixes doit être réalisé avant dispersion dans l'atelier. C'est en particulier le cas des fumées et émissions gazeuses des fours qui sont rejetées à l'extérieur.

Les fuites accidentelles de gaz de traitement, les poussières produites doivent être captées aux points d'émission les plus probables et évacuées à l'extérieur après traitement éventuel.

La plupart des procédés de fonderie sont des sources de chaleur qui engendrent des mouvements ascensionnels de l'air entraînant les polluants. Ces mouvements ascensionnels peuvent être utilisés en plaçant les dispositifs de captages au-dessus des points d'émission des polluants, ce qui permet d'avoir des vitesses d'air modérées au niveau de ces dispositifs de captage et par conséquent de limiter les débits d'air mis en jeu.

Étant donné la complexité des problèmes de ventilation, il est recommandé de s'adresser à un bureau d'études spécialisé, sur la base d'un cahier des charges donnant les objectifs à atteindre et précisant les caractéristiques des sources de polluants. Les systèmes de captage des polluants à la source devront prendre en compte les contraintes liées au travail des opérateurs et à la production, en particulier celles liées à la manutention mécanisée des pièces ou des moules. Les brochures ED 695 et ED 657 donnent les principales règles pour la conception d'un système de ventilation.

Il y a lieu de s'assurer que la température et la concentration en polluants dans tous les points de l'atelier où évolue le personnel sont satisfaisantes : par exemple, on recherchera la présence de monoxyde de carbone qui est révélateur du dysfonctionnement des brûleurs, ainsi que la silice dans les sableries et au décochage.

Les émissions qui ne peuvent être captées à la source, par exemple les gaz émis par les moteurs thermiques des engins de manutention et les dégagements de chaleur seront traités par la ventilation générale de l'atelier. Communément, celle-ci est réalisée par convection naturelle du fait de la chaleur émise par les fours et les poches d'aluminium liquide. La présence de ces sources de chaleur au-dessus du niveau du sol de l'atelier engendre en effet des mouvements ascensionnels qui favorisent l'évacuation de l'air pollué à travers des aérateurs statiques disposés en toiture. L'air neuf de compensation (éventuellement tempéré en hiver) sera introduit par des moyens adaptés.

#### 3.6.1.3 Ambiance thermique au poste de travail

Les équipements et caractéristiques des locaux de travail doivent permettre d'adapter la température à l'organisme humain pendant le temps de travail, compte tenu des méthodes de travail et des contraintes physiques supportées par les salariés. L'objectif est donc la réalisation d'une ambiance thermique modérée en température et, éventuellement, en hygrométrie et en vitesse d'air. On tiendra compte :

- des dispositions du Code de la construction,
- des dispositions du Code du travail,
- des recommandations du document ED 950.

Cet objectif pourra être réalisé par association :

- d'une ventilation naturelle fondée sur les principes cités dans le § 3.6.1.2,
- d'une isolation permanente multifonction (thermique et acoustique) des façades et de la toiture,
- du préchauffage éventuel de l'air de compensation neuf associé ou non à un système de récupération d'énergie (ED 657 et ED 950),
- d'installations ponctuelles de chauffage ou de rafraîchissement de l'air (voir ED 950),
- de la réduction des apports thermiques dus aux fours ou aux machines (voir ED 950).

### 3.6.2 Bruit

#### 3.6.2.1 Généralités

La fonderie est une activité bruyante (fours à gaz, décochage, ébarbage, usage de l'air comprimé...) en interne pour les salariés et en externe pour le voisinage.

En matière de bruit au travail, le Code du travail fixe trois seuils d'action :

- une valeur d'exposition inférieure déclenchant l'action (VAI) correspondant à une exposition moyenne quotidienne de 80 dB(A) ou une exposition instantanée aux bruits très courts (niveau de crête) de 135 dB(C),
- une valeur d'exposition supérieure déclenchant l'action (VAS) correspondant à une exposition moyenne quotidienne de 85 dB(A) ou une exposition instantanée aux bruits très courts (niveau de crête) de 137 dB(C),
- une valeur limite d'exposition (VLE) correspondant à une exposition moyenne quotidienne de 87 dB(A) et une exposition instantanée aux bruits très courts (niveau de crête) de 140 dB(C). Ce troisième seuil ne doit être dépassé en aucun cas. À la différence des seuils précédents, il prend en compte l'atténuation du bruit apportée par les protecteurs individuels.

Les actions à entreprendre sont fixées par le Code du travail, à chaque fois qu'un de ces seuils est dépassé. En particulier, lorsque le deuxième seuil est dépassé, un programme de prévention technique collective visant à réduire le bruit doit être mis en place par l'entreprise. La réglementation prévoit aussi que, lorsqu'il est prévu d'installer des machines susceptibles d'exposer les salariés à des

niveaux supérieurs au seuil de 85 dB(A), les locaux doivent être conçus de façon à réduire la réverbération du bruit par les parois (voir ED 6103). La propagation du bruit vers les autres locaux occupés par des travailleurs doit être limitée. La brochure ED 962 décrit en termes simples les divers aspects méthodologiques et techniques de la réduction du bruit sur les lieux de travail. Les normes NF EN ISO 11690-1 et NF EN ISO 11690-2 traitent de la pratique recommandée pour la conception de lieux de travail à bruit réduit.

#### 3.6.2.2 Principes de prévention

La prévention des risques liés au bruit aux postes de travail comporte trois phases, par ordre chronologique :

- action sur les sources de bruit,
- réduction du bruit au cours de sa propagation,
- en dernier recours, port de protecteurs individuels de l'ouïe.

##### ▷ Action sur les sources de bruit

La réglementation fixe aux constructeurs de machines l'obligation de déclarer, dans la notice d'instructions et dans la documentation technique décrivant la machine, l'émission sonore des machines mises sur le marché. Le cahier des charges imposé par l'utilisateur aux fournisseurs potentiels doit demander la fourniture de cette information. Muni de cette information, l'utilisateur peut faire entrer le facteur « moins de bruit » parmi ses critères d'achat. Le code d'essai acoustique normalisé NF EN 1265 fixe la méthode de mesurage, les conditions de fonctionnement de la machine et la méthode de déclaration de l'émission sonore pour douze grandes familles de machines de fonderie. Un constructeur ayant choisi d'être conforme à la réglementation sur la sécurité des machines en utilisant les normes européennes harmonisées est tenu d'utiliser ce code d'essai. Le cahier des charges peut donc demander la fourniture de valeurs d'émission sonore obtenues suivant ce code.

##### ▷ Réduction du bruit lors de sa propagation

Elle consiste à réduire la transmission du bruit émis par les machines vers les postes de travail, par exemple au moyen d'encoffrements, d'écrans,

d'un traitement acoustique des parois du local destiné à en réduire la réverbération (voir ED 6103 et ED 107). La réduction de la réverbération peut être obtenue par :

- l'emploi de systèmes de couverture et de bardage réduisant la propagation des ondes sonores,
- l'emploi de faux plafonds, solution envisageable pour des ateliers de dimensions limitées ; un soin particulier devra être apporté à l'étude du passage des cheminées et aux problèmes d'incendie et d'explosion de poussières (dépoussiérage périodique).

Les bâtiments existants peuvent faire l'objet d'un traitement de correction permettant de les rendre moins réverbérants.

Quelle que soit la solution envisagée, elle doit prendre en compte les risques spécifiques liés aux poussières et aux gaz chauds.

La complexité et la spécificité du sujet conduisent à préconiser le recours à des sociétés d'ingénierie ou des bureaux d'étude spécialisés en acoustique intérieure. Ces derniers disposent de moyens de calcul permettant de prévoir l'efficacité de telle ou telle action technique de réduction du bruit et peuvent ainsi proposer la solution la plus adaptée à la situation. La reconnaissance de leur compétence fait l'objet de l'attribution d'une qualification professionnelle.

#### ▷ Protection individuelle

Dans le cas où les niveaux d'exposition sont irréductiblement supérieurs aux valeurs réglementaires précitées, il faut avoir recours à des équipements de protection individuelle. À noter que le confort perçu par le salarié est un critère de choix des protections individuelles au moins aussi important que leur performance théorique (voir ED 868).

#### 3.6.2.3 Locaux réservés

Les activités bruyantes et non bruyantes doivent être physiquement séparées.

Certains locaux doivent être réservés pour l'implantation d'équipements bruyants autonomes. Ces équipements bruyants doivent être désolidarisés de la structure du bâtiment et entourés de parois assurant une isolation acoustique telle que le niveau

du bruit mesuré hors local soit inférieur au niveau admissible pour la destination des locaux contigus.

Les voies de roulement des ponts et les équipements générant des vibrations seront découplés de la structure porteuse du bâtiment pour éviter les transmissions solidiennes ; les massifs de fondation seront dissociés du dallage par des joints anti-vibratiles autorisant la libre dilatation des structures.

Les services administratifs seront implantés hors du bâtiment de fabrication. Les bureaux liés à la production seront isolés des bruits et vibrations de l'atelier.

#### 3.6.3 Éclairage

Outre l'éclairage naturel (voir § 3.4.2), des éclairages artificiels doivent donner un niveau d'éclairement suffisant en fonction des tâches réalisées (ED 85, normes NF X 35-103 et NF EN 12464-1). Le nettoyage et l'entretien des éclairages doivent être réalisés régulièrement selon des méthodes et des moyens de travail prévus dès la conception des locaux (ED 6270).



Pièces en alliages d'aluminium

# 4 // Phases de production

## 4.1 Préparation des charges

### 4.1.1 Généralités

L'objectif du fondeur est de réaliser un alliage de composition définie (titre). Une charge\* de four est constituée de métal approvisionné sous forme liquide ou solide, de produits de recyclage et de produits d'addition. L'ensemble de ces produits aux conditionnements divers est réceptionné, sélectionné, classé, marqué et pesé.

Le métal de base peut se présenter sous des formes variées nécessitant l'emploi d'équipements et d'accessoires spécifiques :

- lingots\* isolés ou en pile,
- produits de recyclage : masselottes\*, coulures\*, pièces rebutées.

À ce métal de base sont très fréquemment ajoutés d'autres métaux (souvent sous forme d'alliages-mères\*), de façon à améliorer certaines caractéristiques des produits obtenus. Les produits d'addition se présentent le plus souvent sous forme de grenaille, de plaquettes, de lingots\*...

### 4.1.2 Équipements

La préparation des charges\* nécessite :

- des moyens de conditionnement spécialisés (bennes, palettes, trémies, conteneurs souples),
- des installations mécanisées de distribution pour les produits solides,
- des appareils\* de manutention (ponts, pinces, chariots à fourche ou engins spécifiques),
- des moyens de pesage.

Dans certains cas, le métal liquide est approvisionné directement par des véhicules de transport routier.

En général, la préparation des charges\* s'effectue sur des aires situées à proximité des fours de fusion et abritées des intempéries.

Les emplacements de préparation des charges\* comportent des zones d'évolution des engins de manutention, des allées de circulation pour piétons.

Ce sont des zones de co-activité où peuvent se trouver simultanément du personnel et des engins de manutention.

### 4.1.3 Risques et prévention

#### 4.1.3.1 Manutentions

Dans cette phase de préparation des charges\*, les manutentions sont à l'origine des risques les plus importants.

Les principes à mettre en œuvre lors de la conception consistent à :

- analyser les flux pour réduire les manutentions,
- implanter les zones de manutention et définir les plans de circulation de façon à séparer les flux de personnes et les flux d'engins (voir § 2.2),
- choisir les moyens de manutention après analyse, en fonction des équipements de production et des caractéristiques des produits à manutentionner,
- évaluer les risques dus aux manutentions manuelles résiduelles (par exemple le gerbage de piles). L'analyse de la charge physique de travail peut aider à améliorer les postes de travail (voir ED 6161).

Pour l'utilisation des moyens de manutention, il est nécessaire :

- d'assurer la formation des opérateurs à la conduite des engins de manutention (voir R389),
- de former et d'informer l'ensemble des salariés aux opérations de manutention, en prenant en compte les risques inhérents à la co-activité,
- de programmer et de réaliser les contrôles périodiques obligatoires,
- d'organiser l'entretien des équipements conformément aux notices des constructeurs,
- d'assurer l'information des agents des entreprises extérieures sur les risques liés aux opérations de manutention.

#### 4.1.3.2 Produits dangereux

Pour tout produit chimique, les sources primaires et essentielles d'information concernant l'évaluation des risques et les précautions à prendre lors des manipulations sont :

- l'étiquetage réglementaire qui indique les principaux dangers,
- la fiche de données de sécurité qui complète et approfondit les informations fournies par l'étiquetage.

Bien compris et exploités, les éléments fournis par ces documents facilitent la mise en place d'un plan

et de mesures de prévention lorsqu'il s'agit d'utiliser des produits chimiques.

Certains métaux additionnés à la charge\* lors de la phase de préparation (le plomb par exemple) peuvent faire courir des risques d'intoxication. Il est donc nécessaire, lors de l'utilisation de tels produits, d'adopter des mesures préventives adaptées pour prendre en compte le mieux possible le risque de maladies liés au travail.

D'autres métaux, très réactifs, tels le sodium ou le magnésium, nécessitent des techniques spécifiques d'utilisation.

Les principales mesures de prévention consistent à :

- recenser les produits employés et s'assurer de la présence des fiches de données de sécurité,
- lorsque cela est techniquement possible, limiter l'utilisation des produits les plus dangereux en les remplaçant par des produits moins dangereux,
- approvisionner les alliages sous forme solide compacte à l'exclusion de toute présentation sous forme pulvérulente,
- adapter la taille du conditionnement aux exigences de l'ajustement du titre,
- respecter les conditions de stockage,
- choisir des méthodes de manutention qui évitent la formation de poussières,
- porter des gants lors des manipulations,
- former les salariés aux règles habituelles d'hygiène en particulier en ce qui concerne le lavage des mains avant de manger ou de fumer,
- mettre à la disposition des salariés des douches et des vestiaires à deux compartiments permettant de séparer les vêtements de travail des vêtements de ville,
- organiser le nettoyage des vêtements de travail,
- informer le personnel sur les risques de maladies professionnelles (voir annexe 3 sur les maladies professionnelles).

## 4.2 Fusion et élaboration du métal, transfert

### 4.2.1 Généralités

Ces opérations consistent à fondre les charges\*, éliminer les impuretés, mettre au titre et maintenir en température.

La mise en chauffe du four consiste à augmenter sa puissance selon un programme établi afin d'en optimiser la durée de vie et la consommation d'énergie.

Le transfert du métal vers un four de maintien ou une poche\* se fait par basculement du four ou par l'intermédiaire d'une goulotte\* alimentée par un trou de coulée.

Le métal liquide peut contenir en son sein des oxydes et de l'hydrogène qu'il est nécessaire d'éliminer. Il convient d'ajouter des flux\* et de brasser le bain (voir encadré 4). Les crasses\* remontent en surface où elles peuvent être éliminées à l'aide de racles\* ou d'écumoirs; l'hydrogène s'évacue dans l'atmosphère.

Après analyse, l'alliage est mis au titre, par ajout d'alliages-mères\* de compositions adéquates.

Le métal liquide est maintenu à une température prédéterminée. Une protection du bain peut être nécessaire pour les fours utilisant un chauffage à flamme. Un flux\* de couverture est répandu sur le bain pour limiter le contact avec l'atmosphère du four et piéger les oxydes en surface.

### 4.2.2 Équipements

#### 4.2.2.1 Fours

Les fours et leurs annexes sont les principaux équipements permettant les opérations d'élaboration\* du métal avant la coulée. Ils peuvent être répartis en deux catégories suivant leur fonction :

- les fours de fusion munis d'équipements de chauffage puissants pour fondre le métal,
- les fours de maintien employés pour maintenir liquide le métal fondu.

Dans certains cas les fours de fusion servent également de fours de maintien.

#### 4.2.2.2 Équipements de service

Des équipements de service sont associés aux fours, ils permettent les travaux d'introduction des charges, le brassage\*, l'introduction de gaz et l'écumage\* du métal liquide.

Certains fours peuvent être chargés à l'aide d'installations mécanisées plus spécialisées :



© IMRS

Brassage du métal dans un four de fusion



© Pierre Bérenger

Injection d'azote dans le métal

- bennes à fond escamotable (coquilles ou lamelles), palettes ou trémies pour le chargement des fours à voûte escamotable,
- bennes basculantes ou tapis d'alimentation pour le chargement par la cheminée.

La manutention du métal liquide se fait à l'aide d'équipements tels que les poches\* et leurs véhicules de transport ainsi que les ponts, pinces et chariots à fourche.

Des gaz (azote, argon) sont injectés dans le métal liquide lors de certaines étapes de l'élaboration\*, au moyen de cannes ou dans des creusets\* spécialisés.

#### 4.2.3 Risques et prévention

Les risques inhérents à la fusion sont essentiellement :

- les risques de brûlures et de projections explosives dues à un contact intempestif du métal liquide avec de l'eau,
- les risques liés à l'utilisation de produits chimiques, qu'ils se traduisent sous la forme d'explosions, d'incendies (gaz, fioul, huile des vérins...) ou d'effets toxiques (chlore, monoxyde de carbone, fumées),
- les risques de brûlures au contact de parois, de métaux ou de crasses\* chauds,

- les risques dus à la manutention et les risques de collisions liés à la circulation des engins et des personnes,
- les risques liés à l'exposition aux vibrations de l'ensemble du corps lors de la conduite des engins.

##### 4.2.3.1 Projections explosives dues à un contact intempestif du métal liquide avec de l'eau

L'eau et le métal liquide peuvent entrer en contact pour quatre raisons principales :

- l'introduction d'une charge\* contenant de l'eau dans un pied de bain\* de métal liquide (ou inversement la coulée de métal liquide sur une charge\* contenant de l'eau déjà présente dans le four),
- l'utilisation de matériel humide pour traiter le métal liquide (par exemple, louche\* poteyée depuis peu),
- la fuite d'un élément refroidi à l'eau,
- le débordement, la percée du four ou le déversement accidentel de métal liquide dans une fosse humide ou contenant de l'eau.



Outils d'écrémage du métal devant un four de maintien

© Pierre Bérenger



Fixation d'une poche sur la fourche d'un chariot

© Pierre Bérenger

### ▷ Introduction d'une charge susceptible de contenir de l'eau dans du métal liquide

**Enfourner directement dans du métal liquide certaines charges\* pouvant contenir de l'eau (humidité, condensation...) entraîne un risque d'explosions violentes.**

Ce type d'incident est à l'origine de la majorité des projections explosives de métal liquide survenant dans la phase d'élaboration\*.

Afin de réduire ce risque, chaque fonderie, en fonction des conditions d'exploitation, doit définir des modes opératoires d'enfournement prenant en compte les mesures de prévention suivantes :

- proscrire l'enfournement direct dans le métal liquide de tout corps creux ou métal humide ou oxydé,
- le chargement des déchets humides ne peut se faire que sur sole sèche,
- les lingots\* achetés à l'extérieur doivent être préchauffés avant introduction dans le métal liquide (la fusion sur sole sèche peut se faire sans préchauffage),
- le stockage du métal massif destiné à être enfourné dans du métal liquide doit se faire à

l'abri des intempéries en prenant en compte les phénomènes de condensation,

- les lingots\* produits en interne doivent être stockés à l'abri et refondus le plus rapidement possible,
- les bennes de chargement utilisées pour stocker les éléments à refondre doivent être à fond perforé (en métal déployé, par exemple) afin de ne pas retenir de l'eau.

### ▷ Utilisation de matériel humide pour traiter le métal liquide

Ce type d'accident a les mêmes origines physiques que les précédents, c'est-à-dire le contact aluminium liquide-humidité. Les mesures préventives permettant de diminuer la probabilité d'occurrence de ces incidents sont les suivantes :

- le déversement de métal liquide ne doit se faire que dans des fours préchauffés dont les réfractaires\* sont secs ou des fours contenant du métal liquide ou du métal solide porté à plus de 200°C,
- la mise en place d'un garnissage nouveau et son séchage demandent beaucoup de temps et de soin ; dans le cas des fours à induction, certains éléments (cuve, inducteur,...) peuvent être prévus en réserve,

- le stockage des creusets\* doit être réalisé dans un endroit propre et sec,
- l'utilisation au contact du métal liquide d'outils exempts d'humidité est indispensable; il faut les stocker à l'abri des intempéries dans un lieu propre et sec; les préchauffer avant de les utiliser; pour cela des supports de stockage équipés de brûleurs à gaz peuvent être utilisés.

#### ▷ Fuite d'un élément refroidi à l'eau

Ce type d'incident est dû à la coexistence de circuits de refroidissement alimentés en eau et d'aluminium liquide. Cette coexistence est systématique dans les fours à induction.

Les mesures préventives permettant de diminuer la probabilité d'occurrence de tels incidents sont les suivantes :

- les systèmes d'alimentation en eau sont constitués de matériaux résistants à la corrosion. Ils doivent garantir la permanence du débit de façon à empêcher l'absence locale de refroidissement qui conduit à des surchauffes et à des percements d'encadrements ou de réfractaires\* (notamment dans le cas des fours à induction),
- l'état du circuit d'eau doit être contrôlé régulièrement; il faut veiller à la qualité de l'eau utilisée pour éviter l'entartrage des circuits de refroidissement,
- lorsqu'il existe, le système de refroidissement de certaines parties des fours telles que les encadrements de portes, les brûleurs, etc., doit comporter des vannes d'arrêt en amont des éléments refroidis. Il doit être conçu de telle sorte que la vaporisation éventuelle de l'eau en cas de fuite ne provoque pas une mise en pression de l'installation.

#### ▷ Débordement, percée du four ou déversement accidentel de métal liquide dans une fosse humide ou contenant de l'eau

Des débordements peuvent avoir lieu lors d'un chargement du four au-delà de ses capacités ou lors d'un déversement brutal de métal solide dans un pied de bain\*.

La percée d'un four peut être due à une faiblesse des réfractaires\*, un mauvais entretien ou un refroidissement inefficace de ceux-ci.

Les mesures de prévention permettant de diminuer la probabilité d'occurrence de tels débordements ou percements sont les suivantes :

- il faut toujours s'assurer que la capacité du four est suffisante pour accueillir, en plus du métal liquide qu'il contient déjà, la charge\* qu'il est prévu d'ajouter, et en permettre le brassage\*,
- les réfractaires\* doivent être étudiés et mis en place avec soin; un contrôle et une maintenance adaptés et réguliers sont essentiels (par exemple des mesures de température de carcasse permettent d'anticiper la percée),
- le décrassage\* se fait à fréquence variable, en fonction du type de produit fondu; il s'effectue avec des racles\* et ringards\*; c'est l'occasion de piquer\* le corindon\*, de contrôler l'état du réfractaire\* et d'en effectuer la réparation (gunitage\*, lorsqu'elle est effectuée à chaud) ou la réfection à température ambiante; dans le cas particulier des fours à induction à creuset\*, le brassage\* caractéristique occasionne un dépôt de crasses\* localisé sur deux anneaux; ce dépôt doit être enlevé régulièrement; après ragrage éventuel, on applique un enduit de protection qui obstrue les porosités,
- les creusets\* en fonctionnement font l'objet de changements soit systématiques soit après examen visuel; du fait de leur fragilité, ils doivent être manipulés avec précaution,
- des contrôles périodiques des éléments de pyrométrie et d'isolement électrique doivent être effectués; les creusets\* métalliques ou les gaines métalliques de protection des thermocouples\* doivent être nettoyés et/ou poteyés à fréquence déterminée,
- un contrôle visuel et dimensionnel de l'état du réfractaire\* ainsi qu'un suivi de la consommation d'énergie doivent être réalisés périodiquement.

Pour limiter les conséquences de la présence d'eau en fosse, il faut revêtir les sols et les parois verticales de peintures bitumineuses ou de résines époxydiques appropriées et créer un puisard avec un moyen d'évacuation de l'eau.

#### 4.2.3.2 Risques de brûlures au contact de liquides ou de solides chauds

Outre les risques de brûlures provoquées par les projections explosives d'aluminium liquide, la phase

d'élaboration\* fait courir des risques importants de brûlures ayant pour origines principales :

- le contact avec des charges\* solides préchauffées ou avec de l'aluminium liquide,
- le contact avec des parties chaudes du four,
- le contact avec des outils chauds,
- la projection de métal liquide lors de l'enfournement brutal de charges\* solides dans un pied de bain\* d'aluminium liquide ou à cause d'un débordement.

La prévention de ces risques consiste essentiellement à éloigner, autant que faire se peut, l'opérateur des matières chaudes. Le port de vêtements de travail et d'équipements de protection individuelle adaptés complète cette mesure (voir annexe 1 sur les EPI en présence d'aluminium liquide).

Les risques de projection de métal liquide lors de l'enfournement brutal de charges\* solides dans un pied de bain\* liquide ou lors d'un débordement peuvent être considérés comme liés aux opérations de manutention (voir § 4.2.3.4).

Des moyens de secours aux brûlés doivent être immédiatement disponibles à proximité des postes de travail (voir § 2.6.1).

#### 4.2.3.3 Risques liés à l'utilisation de produits chimiques et de combustibles

Dans cette phase, les risques chimiques peuvent se traduire par des risques d'incendie, d'explosion, d'asphyxie, d'intoxication ou de brûlure chimique.

##### ▷ Risques d'incendie et d'explosion

###### a) dus aux combustibles liquides ou gazeux utilisés pour chauffer les fours

Les combustibles liquides ou gazeux (fioul, gaz naturel) utilisés pour chauffer les fours peuvent être à l'origine d'incendie ou d'explosion en cas de dysfonctionnement (fuite, défaut de régulation de combustion, accumulation de gaz non brûlés). Pour éviter l'accumulation de gaz non brûlés, le matériel doit être conçu de façon à permettre le contrôle de la combustion et être vérifié périodiquement. Dans le cas du gaz naturel, une pré-ventilation de la chambre avant étincelage doit être prévue. La surveillance et la maintenance des réseaux doivent être effectuées régulièrement de

façon à minimiser les risques de fuite, et l'installation doit présenter des vannes de barrage repérées et accessibles. Une détection automatique de la présence de gaz dans les locaux, commandant une alarme et une coupure de l'arrivée de gaz et des sources d'ignition, peut compléter le dispositif. Les équipements thermiques utilisés doivent être conformes aux normes NF EN 746-1 et NF EN 746-2. Pour la réglementation concernant le stockage et l'utilisation des combustibles gazeux et liquide, voir ED 989.

###### b) dus au chargement accidentel de produits incompatibles

Le chargement par inadvertance de produits chimiques incompatibles ou de déchets pollués par ces mêmes produits chimiques peut également conduire à des explosions au contact de l'aluminium liquide. Des accidents de ce type se sont produits avec des oxydants puissants (nitrates, chlorates...). De tels produits doivent être exclus des ateliers de fusion. A défaut, une organisation rigoureuse, s'appuyant par exemple sur une démarche qualité, est susceptible de réduire le risque.

###### c) dus à d'autres causes

Le déversement accidentel d'aluminium liquide dans la fosse située sous le four peut entraîner l'inflammation de l'huile des vérins logés dans cette fosse, notamment en cas de fuite du liquide hydraulique. Pour limiter ce risque, outre les mesures déjà décrites pour éviter le déversement accidentel d'aluminium liquide dans la fosse située sous le four, le fluide utilisé doit être du type difficilement inflammable (eau additionnée de glycol par exemple). Il est, de plus, nécessaire d'assurer un nettoyage régulier des fosses et de veiller au bon état des flexibles et tuyauteries.

##### ▷ Risques d'asphyxie, d'intoxication ou de brûlure chimique

###### a) dus aux gaz de traitement inerte (azote, argon)

Le risque dû aux gaz servant au traitement du métal liquide dans les fours est celui d'asphyxie qui se produit lorsqu'un opérateur pénètre dans une zone où l'air respirable a été remplacé par une accumulation de gaz inerte.

## ENCADRÉ 4

## Les flux

Ce sont des produits solides ou gazeux ajoutés après la fusion; ils servent à traiter le métal liquide et permettent d'améliorer les caractéristiques de l'alliage solidifié.

On distingue différents types :

- **les flux\* désoxydants** permettent l'élimination des oxydes en surface ou au sein de l'alliage; ils agissent en dissolvant les oxydes d'aluminium et en les entraînant en surface. Ils contiennent des fluorures [ $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  (cryolithe)]... Ils doivent être mélangés au bain pour être efficaces,
- **les flux\* de couverture** protègent l'alliage de l'oxydation et de l'absorption d'hydrogène. Ils sont notamment utilisés lorsque le chauffage est réalisé par une flamme en contact avec le métal,
- **les flux\* d'écumage\*** répandus à la surface d'un bain permettent de séparer les gouttelettes de métal des crasses\*,
- **les flux\* de dégazage\*** permettent l'élimination de l'hydrogène dissous dans le bain. Ils peuvent être à base de produits chlorés qui dégagent du chlore au contact du métal chaud. L'hexachloroéthane a été beaucoup utilisé; il est désormais interdit dans toutes les fonderies relevant des rubriques ou de la nomenclature des installations classées 2552 (fonderie de métaux et alliages non ferreux) et 2546 (élaboration et affinage des métaux non ferreux) par arrêté du 21 mars 2003. Des gaz peuvent également être utilisés. Le chlore n'est pratiquement plus employé compte tenu de ses dangers. L'azote qui agit uniquement par action mécanique est très utilisé,
- **les flux\* d'affinage** permettent l'obtention de grains fins qui assurent de bonnes propriétés mécaniques à l'alliage. Les substances qui sont utilisées sont : le fluoborate de sodium ou de potassium, fluotitanate de sodium ou de potassium, le pentachlorure de phosphore et le phosphure de fer ou de cuivre.

La prévention de ce risque repose essentiellement sur des vérifications périodiques, un entretien régulier des vannes, et sur la mise au point de procédures efficaces de consignation. Il est également recommandé d'éviter la présence d'une distribution de gaz inertant à proximité d'un espace confiné où ce gaz pourrait s'accumuler en cas de fuite. Dans les zones où le risque d'inertage est prévisible, un détecteur de niveau d'oxygène couplé à une alarme peut être présent en continu, ou utilisé par les intervenants dans le cadre d'un accès contrôlé.

#### b) dus aux fumées et gaz de combustion

Les fumées et les gaz de combustion sont dangereux, par leur composition chimique et par leur température qui peut conduire à des brûlures. En particulier, le monoxyde de carbone (CO) (voir FT 47) est un gaz incolore, inodore et de densité voisine de celle de l'air résultant de la combustion. C'est un produit toxique. Il est doté d'une VLEP\* (voir ED 984). L'évacuation des gaz et fumées de combustion est normalement assurée par tirage thermique à travers les cheminées des fours.

Une mauvaise évacuation ou des fuites au niveau des ouvertures lors du chargement peut être à l'origine d'une pollution de l'environnement du four. Une conception adaptée ainsi que des vérifications et des contrôles périodiques des cheminées doivent permettre de maîtriser ces problèmes. Une surveillance permanente du monoxyde de carbone peut être effectuée pour repérer une éventuelle dérive.

#### c) dus aux fluorures (voir FT 191)

Les fluorures sont toxiques par ingestion. Ils provoquent de graves irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires qui peuvent évoluer en brûlures chimiques, ces manifestations pouvant apparaître de façon retardée. Des dégagements d'acide fluorhydrique peuvent se produire en cas de contact avec des acides. Les fluorures et l'acide fluorhydrique ont une VLEP\* (voir ED 984).

Les principales mesures de prévention à mettre en œuvre lors de l'utilisation de produits contenant des fluorures sont les suivantes :

- s'interroger sur la nécessité et la fréquence d'utilisation des fluorures; les remplacer par des produits moins dangereux lorsque cela est

techniquement compatible avec l'objectif de production recherché,

- stocker les fluorures dans des récipients fermés à l'abri de l'humidité et à l'écart des acides; éviter la formation de poussières et assurer une ventilation suffisante,
- utiliser des gants, lunettes et vêtements de protection,
- former les salariés sur les risques et moyens de prévention,
- rappeler les mesures d'hygiène : ne pas boire, manger ou fumer sur le lieu de travail, changer de vêtement et se laver les mains avant les repas, se doucher en fin de journée,
- disposer à proximité de pommade à base de gluconate de calcium.

#### d) dus au chlore (voir FT 51)

Du chlore se dégage lors de l'utilisation de certains flux\* de traitement (voir encadré 4). Le chlore est, à température ambiante et à pression atmosphérique, un gaz de couleur jaune verdâtre, plus lourd que l'air, d'odeur piquante et suffocante, perceptible à une concentration inférieure à 1 ppm. L'inhalation de chlore peut provoquer de graves lésions des voies respiratoires; selon la concentration l'effet peut être immédiat ou retardé. C'est un produit très dangereux (une exposition à une concentration de 1000 ppm - ou 0,1 % - est rapidement fatale chez l'homme). Il a une VLEP-CT\* (voir ED 984).

#### 4.2.3.4 Autres risques

##### ▷ Risques dus à la manutention

Afin d'éviter les projections d'origine « mécanique » et les débordements lors de l'enfournement des charges\*, un mode opératoire\* rigoureux doit être respecté et cette opération ne doit être effectuée que par du personnel spécialement formé.

Dans le cas d'une introduction manuelle des charges\*, le mode opératoire\* doit permettre de prévenir les risques de projections. Les salariés doivent porter des équipements de protection (voir annexe 1 sur les EPI en présence d'aluminium liquide).

En cas d'utilisation de chariots de manutention, ceux-ci doivent être appropriés aux conditions de travail pendant le chargement : longueur du bras ou de la fourche de chargement suffisante (pour



© Pierre Bérenger

Déplacement d'une poche de transfert par un chariot à fourche

assurer le chargement «en douceur» de solides dans du métal liquide et ainsi éviter des projections), cabine de protection contre les projections, protection anti-incendie et bandages des roues adaptés aux ambiances thermiques.

Dans le cas de charges\* de métal liquide, l'utilisation de matériels adaptés (poches\*, goulottes\*) bien positionnés doit limiter les risques de projections. Les vitesses de déplacement et de basculement des poches\* de métal liquide doivent être limitées.

#### ▷ Risques dus aux vibrations transmises par les engins roulants

La prévention passe par l'élimination ou l'arasement des obstacles (nids de poule, pas de porte, bords de trottoir...) et l'équipement du poste de conduite avec des sièges adaptés aux caractéristiques dynamiques de l'engin. Ces sièges doivent être remplacés aussi souvent que leur état le nécessite. Il est important d'apprendre aux opérateurs à régler correctement leur siège.

#### ▷ Risques dus à la circulation des engins en présence de personnes

La présence dans la même zone de salariés au sol et de moyens de manutention, qu'ils soient

automatiques ou conduits, induit également des risques de collision, de coincement et d'écrasement. Les priorités engins/salariés doivent être organisées et définies (voir § 2.2 et § 4.1.3.1).

A défaut, des moyens appropriés tels que des dispositifs sensibles de détection de zones peuvent être mis en place.

Le déplacement de poches\* de métal liquide doit être indiqué par une signalisation lumineuse et éventuellement sonore.

#### ▷ Risques mécaniques

Les ouvertures mécanisées des fours et les dispositifs assurant leur basculement font courir des risques aux salariés évoluant à proximité, notamment coincement et écrasement.

Les automatismes employés doivent tenir compte de l'existence de ces risques. Les passages et accès doivent être aménagés de façon à limiter ce risque.

Dans les installations neuves, on doit prévoir, dans la fosse accueillant les vérins, une garde d'au moins 90 cm (homme à genoux) entre sol et four.

Les systèmes de fermeture, leurs actionneurs et leurs sécurités, qu'ils soient mécaniques ou hydrauliques, doivent être vérifiés périodiquement et maintenus en parfait état.

## 4.3 Préparation des moules

### 4.3.1 Généralités

Deux grands types de moules sont utilisés :

- les moules permanents (pouvant être réutilisés pour un grand nombre de pièces),
- les moules destructibles (détruits à chaque pièce coulée).

Certains moules permanents peuvent incorporer des éléments destructibles comme des noyaux\* permettant de mouler des formes creuses à l'intérieur des pièces. La fabrication des moules et leur préparation dépendent de leur nature.

### 4.3.2 Moules permanents

#### 4.3.2.1 Technologie

Ces moules, composés de plusieurs parties pour permettre le démoulage des pièces, sont prévus pour réaliser un grand nombre de pièces. Ils sont généralement réalisés en acier ou en fonte et appartiennent très souvent aux clients. Les moules pour le moulage sous haute pression ne comportent que des éléments permanents alors que ceux utilisés avec d'autres technologies (moulage par gravité, moulage basse pression...) peuvent intégrer des éléments destructibles.

La préparation des moules comprend les étapes principales suivantes :

- nettoyage du moule (voir encadré 5),
- poteyage\*,
- montage sur bâti,
- mise en chauffe par rampes de brûleurs,
- mise en route du système de refroidissement,
- poteyage\* complémentaire entre chaque coulée.

L'intérieur des moules métalliques est recouvert d'un produit de poteyage\* destiné à diriger la solidification de la pièce, à protéger le moule du caractère corrosif de l'aluminium liquide et à faciliter le démoulage. Les produits de poteyage\* sont à base de produits minéraux tels que le talc, le kaolin, le graphite, le silicate de sodium, l'oxyde de titane. Ils se présentent également sous la forme de suspensions dans l'eau ou dans des huiles et peuvent contenir des cires. Leur application se fait sur le moule chaud généralement par pulvérisation et éventuellement au pinceau.



Moule pour le moulage sous pression

© Florence & Feillon

#### 4.3.2.2 Risques et prévention

##### ▷ Manutentions

La mise en place des moules sur les machines ou aux postes de coulée entraîne des risques liés aux manutentions. Ceux-ci résultent de l'interaction directe homme/moule/machine de coulée/moyens de manutention.

Ils peuvent être aggravés par les difficultés d'accès liées à la complexité de certaines machines, en particulier celles destinées au moulage sous pression. Certains moules destinés au moulage sous pression de carters cylindres pour l'automobile peuvent peser 25 tonnes !

La prévention de ces risques passe d'abord par une implantation des machines permettant une utilisation de moyens de manutention adaptés. La conception des moules doit prendre en compte les problèmes de manutention en prévoyant notamment des points de levage et des appareils\* de manutention.

##### ▷ Risques chimiques

Ceux-ci résultent de la pulvérisation de produits de poteyage\*. La plupart des minéraux contenus dans ces produits sont considérés comme sans toxicité spécifique. Ils peuvent cependant, s'ils sont inhalés en quantité importante, provoquer des affections respiratoires par surcharge pulmonaire.

La prévention passe par une limitation des quantités pulvérisées au strict nécessaire ainsi que par le captage des aérosols produits. Les buses de



© INRS / Bernard Floret

Poste de préparation de moules en sable : l'opérateur travaille toujours à la bonne hauteur grâce à une table élévatrice

projection doivent être réglées et orientées de façon à limiter la quantité de produit émise en direction de l'opérateur ; des écrans peuvent également être utilisés.

### 4.3.3 Moules destructibles

#### 4.3.3.1 Technologie

##### ▷ Généralités

Les moules destructibles sont réalisés par la mise en forme de sable additionné d'un liant permettant de lui donner une résistance mécanique suffisante.

Les sables les plus couramment utilisés sont des sables siliceux (leur constituant majoritaire est alors le quartz), mais on trouve pour certaines applications des sables spéciaux (chromite, olivine, zircon, silico-alumineux).

Les liants se classent en deux grandes familles :

- les liants minéraux comme les argiles, la silice colloïdale, les silicates solubles, le plâtre et les ciments,
- les liants organiques comme les matières dérivées de l'amidon, les huiles siccatives et les résines synthétiques durcissables à chaud ou à froid, avec catalyseurs solides, liquides ou gazeux.

Des adjuvants peuvent également être utilisés en faibles quantités ; ils permettent de conférer certaines propriétés aux moules. Des enduits, servant à diminuer les réactions entre le métal et le

moule, peuvent également être déposés à l'interface moule/métal. On utilise couramment la silice, la chamotte, le zircon, l'oxyde de fer, le talc, le graphite...

##### ▷ Réalisation des moules

###### a) Sable « à vert »

Le sable est généralement utilisé « à vert », c'est-à-dire sans séchage. Les ateliers peuvent être plus ou moins automatisés mais globalement, leur schéma de fonctionnement est le suivant :

- le sable est malaxé avec de l'argile, du noir de carbone et de l'eau, puis stocké,
- à partir du stockage, un dispositif permet d'alimenter la chaîne de production,
- le sable est tassé et serré sur le modèle par secousses, pression ou combinaison des deux,
- le moule est séparé du modèle,
- après la coulée et le décochage des pièces, le sable est recyclé. Pour cela il est tamisé, demotté, concassé et dépoussiéré.

###### b) Sable résine

La fabrication des moules est semblable à la réalisation des noyaux\* en procédés à froid (voir ci-dessous). Il existe des moules mixtes composés d'une couche de contact en sable résine complétée par du sable « à vert ».

###### c) Moulage à modèle perdu

Dans ces procédés, des modèles de la pièce réalisés en matière fusible (cire, urée, polystyrène) sont fabriqués pour réaliser le moule. Ils sont en



© INRS / Bernard Floret

Confection de moules en sable : poste de remplissage

## ENCADRÉ 5

## Nettoyage des moules et des boîtes à noyaux

Avant utilisation, les moules métalliques et les boîtes à noyaux\* sont nettoyés et dégraissés. Les méthodes de nettoyage utilisées peuvent être soit mécaniques soit chimiques.

Les méthodes de **nettoyage mécanique** sont :

- le lavage haute pression : il s'agit ici de l'utilisation de jet d'eau haute pression (100 à 200 bars). Le matériel employé doit être en bon état et vérifié régulièrement par une personne compétente nommément désignée par le chef d'entreprise. Les brochures ED 819 et ED 784 donnent les règles d'utilisation de cette technique,
- le sablage ou grenailage : les risques proviennent essentiellement des produits utilisés (quartz, microbilles de verre...). Les poussières générées peuvent être nocives pour les poumons. Lorsque c'est techniquement possible il convient de réaliser cette opération en cabine fermée. Pour les moyens de prévention, voir § 4.6.3.2,
- projection de carboglace : ce procédé fonctionne par projection de glace carbonique sur les surfaces à nettoyer. Les risques spécifiques de ce procédé sont :
  - un niveau de bruit important dû à la détente du CO<sub>2</sub> et à l'impact sur la surface à traiter [100 à 105 dB(A)],
  - la présence de CO<sub>2</sub> ; ce gaz possède une toxicité propre et peut induire des intoxications pouvant être mortelles (voir TC 74),
  - de graves brûlures provoquées par les températures basses de la carboglace.

Il est recommandé d'utiliser ce procédé dans des locaux bien ventilés permettant de maintenir la concentration en CO<sub>2</sub> en dessous de 5000 ppm (0,5%). Les opérateurs doivent porter des équipements les protégeant du froid et de l'action mécanique de la carboglace. Ce poste de travail sera éloigné ou isolé des autres afin de ne pas générer de pollution sur les postes adjacents.

Le **nettoyage chimique** se borne essentiellement au dégraissage des pièces mécaniques. Le moule est en général trempé dans un bain dégraissant. Le dégraissant utilisé est généralement de la soude en solution dans de l'eau chaude. Ce dégraissage chimique est parfois accompagné de l'utilisation d'ultrasons. Le risque principal est celui de brûlure chimique par projection de soude, lors de l'introduction ou de la sortie du bain. Les corps creux peuvent ne pas se vider totalement et conserver très longtemps de la solution corrosive.

Les principales mesures de prévention consistent à :

- utiliser des moyens de manutention adaptés, permettant en particulier de retourner facilement les moules pour les vider,
- rincer les pièces de façon à éliminer la soude résiduelle,
- mettre en place une installation de ventilation permettant le captage des vapeurs et aérosols caustiques afin qu'ils n'atteignent pas les voies respiratoires des salariés (voir ED 651),
- mettre à disposition et faire porter les équipements de protection individuelle, notamment des lunettes de protection,
- disposer à proximité une douche de sécurité et des laveurs oculaires.

Il est également possible de se référer à la ED 827 pour la prévention du risque chimique et à la ED 794 pour le marquage des cuves et canalisations.

général enduits de couches réfractaires\* (à base de zircon, chamotte, silicate d'alumine, talc ou silice). Le moule est ensuite complété par du sable sans liant, sauf pour des pièces de grandes dimensions. Les modèles sont ensuite éliminés soit par fusion avant la coulée du métal soit par gazéification au moment de la coulée. Ces techniques sont utilisées soit pour la fabrication en grandes séries de pièces de précision, soit pour la réalisation unitaire de pièces de grande dimension.

### ▷ Réalisation des noyaux

Les noyaux\* sont réalisés à partir de sables auxquels on ajoute un liant. On trouve des liants minéraux comme le couple silicate de soude/gaz carbonique et des liants organiques sous forme de résines synthétiques. La prise des résines organiques peut être réalisée soit à chaud - on parle de prise en boîte chaude ou tiède -, soit à froid sous l'effet d'un catalyseur liquide, solide ou gazeux.

#### a) La prise en boîte chaude

Les températures sont comprises entre 180 et 200 °C, les temps de cuisson sont très courts (10 à 30 secondes). Les résines utilisées sont des résines formo-phénoliques, urée-formols ou furaniques; la teneur en résine est de l'ordre de 1 à 2 %.

#### b) La prise en boîte tiède

Les températures sont comprises entre 150 et 160°C, les temps de cuisson sont très courts (10 à 30 secondes). Généralement, la résine utilisée est de type furanique (résine urée-formol avec de l'alcool furfurylique); la teneur en résine est de l'ordre de 1 à 2 %.

#### c) La prise en boîte froide (catalyseur gazeux)

Trois procédés principaux sont utilisés :

- le procédé Ashland, utilise une résine formo-phénolique et un isocyanate (MDI). Le catalyseur est une amine, la N,N-diméthyléthylamine (DMEA) à saturation dans un gaz vecteur (gaz carbonique ou azote). Le gaz est injecté dans la boîte à noyaux\*; le gazage dure 2 à 10 secondes, il est suivi d'un balayage à l'air ou à l'azote qui favorise la diffusion de l'amine et la purge du noyau\*. La teneur en résine dans le sable est de l'ordre de 1 %,



Table pivotante réglable en hauteur pour le transfert de boîtes à noyaux

- le procédé Bétaset utilise une résine formo-phénolique en milieu alcalin (potasse ou soude). La résine est durcie par injection dans la boîte à noyau\* de formiate de méthyle gazéifié par de l'air chaud. L'opération peut être suivie d'un balayage du noyau\* à l'air,
- le procédé Isoset, utilise un liant à base de copolymère de type polyester-acrylique, polyester-uréthane ou polyester-époxyde. L'initiateur est un hydroperoxyde organique. La mise en oeuvre se fait par mélange du sable de la résine et de l'initiateur puis par la prise du noyau\* dans la boîte par insufflation de dioxyde de soufre sous pression en quelques secondes puis purge à l'azote ou au gaz carbonique.

Les résines pour prise à froid avec un catalyseur liquide ou solide sont :

- des résines furaniques avec un catalyseur acide (acide phosphorique ou acide sulfonique), les temps de prise vont de 1 à 40 minutes,
- des résines formo-phénoliques avec un catalyseur acide (acide phosphorique ou acide sulfonique),
- des résines formo-phénoliques en milieu alcalin (potasse ou soude); un ester organique liquide est utilisé comme durcisseur, la prise dure de quelques minutes à quelques heures (procédé Alphaset),
- des résines polyuréthanes à base de résines formophénoliques combinées avec un isocyanate et catalysées par une amine, les temps de prise peuvent être réglés entre 30 secondes et 1 heure.

Dans ces procédés, les résines sont mélangées au sable soit dans des malaxeurs « batch » soit dans des malaxeurs continus à vis; la résine et éventuellement le catalyseur sont alors injectés par des pompes doseuses.

Après décochage, les sables peuvent être récupérés. Pour cela, il est nécessaire de les débarrasser de la résine polymérisée et des impuretés, par voie mécanique dans des broyeurs ou par voie thermique. Un dépoussiérage est ensuite effectué.

Des agents de démoulage sont généralement utilisés, ils sont souvent à base de cire et contiennent des solvants aliphatiques, aromatiques ou chlorés.

Une fois les moulages réalisés, les noyaux\* doivent subir différentes opérations avant d'être montés dans les moules : ébavurage, perçage, rebouchage, collage, assemblage, application d'enduit. Le collage implique l'utilisation de colles à froid ou à chaud (formo-phénoliques, polyacryliques, polyuréthanes). Les enduits sont, en général, à base de talc ou de graphite en suspension dans l'eau ou dans un alcool (isopropanol).

Le nettoyage des outillages implique soit des moyens physiques (grenaillage, vapeur, ultrasons, neige carbonique, eau sous pression) soit des moyens chimiques [(N,N-diméthylformamide (DMF), N-méthyl-2-pyrrolidone, solvants aliphatiques ou aromatiques)] (voir encadré 5).

#### 4.3.3.2 Risques et démarche générale de prévention

Lors de la réalisation de moules et noyaux\* en sables, les risques essentiels sont :

- les risques chimiques provenant des liants organiques ou minéraux, des solvants et de la silice cristalline qui est le composant majoritaire de la plupart des sables utilisés,
- les risques d'incendie,
- les risques dus aux bruits et aux vibrations,
- les risques de troubles musculo-squelettiques,
- les risques de projection dans les yeux,
- les risques mécaniques et thermiques liés à l'utilisation d'appareils pour le malaxage des sables, la fabrication des moules, leur manutention et leur recyclage.

Les préconisations de sécurité applicables aux équipements de fabrication de moules et de noyaux\* en sable font l'objet de la norme NF EN 710.

### ▷ Risques chimiques

#### a) La silice cristalline (voir encadré 7)

Tous les stades de la réalisation des moules ou des noyaux\* peuvent être à l'origine d'émission de poussières dont la silice cristalline constitue une proportion importante. Les étapes qui sont susceptibles de générer les quantités de poussières les plus importantes sont le remplissage des malaxeurs, le malaxage des sables et leur recyclage avec en particulier leur dépoussiérage ainsi que la maintenance des équipements.

La prévention des risques dus à la silice cristalline passe par :

- le choix de procédés générant aussi peu de poussières que possible,
- l'encoffrement des opérations génératrices de poussières,
- la mise en place de dispositifs d'aspiration des poussières.

Le guide pratique de ventilation ED 767 donne les règles de conception pour les dispositifs de captage et de ventilation ainsi que des exemples de réalisations.

#### b) Les liants

Parmi les liants minéraux susceptibles d'être utilisés, le silicate de soude est le produit le plus dangereux par ses effets corrosifs pour la peau et les yeux.

De nombreuses substances chimiques utilisées dans les liants organiques peuvent engendrer des risques pour la santé des salariés (voir encadré 6).

D'une façon générale, dans les procédés à chaud, il se produit des dégagements de produits volatils présentant des risques pour la santé en cas d'inhalation (formaldéhyde, phénol...). L'exposition des salariés peut se produire lors de la prise de la résine, lors du vieillissement des noyaux\* ou lors de l'ébavurage des plans de joints réalisé après démoulage. Dans les procédés à froid, le risque principal est présenté par les agents catalyseurs utilisés pour accélérer la prise.

Dans la mesure où cela est techniquement possible, il est recommandé de remplacer les procédés et les produits présentant le plus de risques par des procédés qui en présentent moins. En particulier, compte tenu des risques importants de

## ENCADRÉ 6

## Toxicité des principales substances utilisées lors de la fabrication des noyaux

Dans les procédés de noyautage, les principales substances chimiques présentant des risques pour la santé sont :

- **Le formaldéhyde**, susceptible de se dégager des résines phénoliques ou des résines urée-formol. Il est irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires. C'est un sensibilisant susceptible de provoquer eczéma, urticaire, rhinite et asthme. Il est classé comme cancérigène\* de catégorie 1B selon le règlement européen CLP. Les affections professionnelles dues au formaldéhyde peuvent être prises en charge au titre du n°43 des maladies professionnelles du régime général (voir FT 7).
- **Le phénol**, susceptible de se dégager des résines phénoliques. Il est caustique pour la peau et les muqueuses. A dose élevée, il entraîne une irritation respiratoire avec toux, dyspnée, céphalées, asthénie. Pénétrant par voie cutanée, il entraîne de graves effets toxiques qui peuvent se traduire par des troubles digestifs et neurologiques et une atteinte hépato-rénale dans les cas sévères (voir FT 15).
- **L'alcool furfurylique**, susceptible de se dégager des résines furaniques. Il est irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires. En cas de contacts répétés avec la peau, des dermatoses sont possibles. Il peut provoquer des allergies respiratoires et cutanées. Les affections professionnelles dues à l'alcool furfurylique peuvent être prises en charge au titre des tableaux n°74 et 84 des maladies professionnelles du régime général (voir FT 160).
- **La N,N-diméthyléthylamine (DMEA)**, utilisée à l'état gazeux comme catalyseur de certaines résines. C'est un liquide très volatil, irritant puissant des voies respiratoires, pouvant entraîner un œdème aigu du poumon en cas d'inhalation importante. Il est également très irritant pour les yeux en exposition sous forme gazeuse et en cas de projection sous forme liquide (risque de lésions cornéennes irréversibles). Pour des expositions plus faibles, peut apparaître, au cours du travail ou après celui-ci, une vision brumeuse avec perception de halos bleutés autour des objets, liée à un œdème cornéen réversible en quelques heures. C'est également un irritant cutané puissant et un allergisant (dermite eczématiforme, asthme). Les affections professionnelles peuvent être prises en charge au titre du tableau n°49 des maladies professionnelles du régime général (voir FT 127).
- **Le diisocyanate de diphénylméthane (MDI)**, utilisé dans certaines résines peut se dégager, en faibles quantités, de l'enrobage ou lors de manipulations de résines. Sensibilisant, il peut déclencher des manifestations allergiques et en particulier des asthmes, pris en compte par le tableau n°62 des maladies professionnelles du régime général (voir FT 129).
- **Le formiate de méthyle** qui sert, sous forme gazeuse, de catalyseur à la polymérisation de certaines résines. C'est un irritant de la peau et des muqueuses. Il pénètre par voie respiratoire, cutanée voire digestive. Il est faiblement odorant, ce qui donne l'impression que les procédés qui l'utilisent sont sains. Il est très inflammable et peut constituer des mélanges explosifs avec l'air.

## ENCADRÉ 7

**Silice cristalline (FT 232)**

La silice cristalline existe sous trois formes : le quartz, la tridymite et la cristobalite. Dans le cas des sables de fonderie, le quartz est majoritairement rencontré. La transformation du quartz en tridymite se fait au-dessus de 867°C et la transformation de la tridymite en cristobalite au-dessus de 1470°C. Les températures atteintes par les moules dans les fonderies d'aluminium ne permettent donc pas la formation de tridymite et encore moins de cristobalite. Le quartz présente, vers 573°C, un pic de dilatation très important lié à la transformation du quartz  $\alpha$  en quartz  $\beta$ . Cette particularité est responsable de la fissuration des grains lors des coulées produisant ainsi des particules fines.

La silice cristalline inhalée sous forme de particules fines est responsable de maladies pulmonaires dont la silicose ; ces affections sont reconnues comme maladies professionnelles (tableau n°25 du régime général de la Sécurité sociale). Le secteur de la fonderie concentre une part importante des cas de silicose reconnus chaque année en France. La silice cristalline (exposition professionnelle au quartz et à la cristobalite) a été classée cancérigène\* pour l'homme (groupe 1) par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer).

La directive (UE) 2017/2398 introduit dans la liste des procédés cancérigènes les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail. Les États membres doivent mettre en vigueur les dispositions nécessaires nécessaires pour se conformer à cette directive au plus tard le 17 janvier 2020.

Les poussières alvéolaires de silice cristalline ont des VLEP\* en France (voir ED 984).

## ENCADRÉ 8

**Risques liés aux convoyeurs**

Des convoyeurs sont fréquemment utilisés dans les ateliers de fonderie ; ce sont en général des convoyeurs à rouleaux.

Les convoyeurs motorisés doivent être conçus et réalisés de façon à ne pas présenter de risques pour les opérateurs qui peuvent s'en approcher. Ceci peut être réalisé :

- en éliminant toute possibilité de coincement par les rouleaux en rotation à l'aide de rouleaux débrayables, de tôles de jonction ajustées ou de dispositifs sensibles,
- en rendant les convoyeurs à rouleaux inaccessibles (ce qui n'est pas possible aux postes de travail manuel),
- en commandant le mouvement de ces convoyeurs par action maintenue sur un organe de service prévu à cet effet et convenablement disposé pour assurer toute visibilité sur les éléments commandés.

sensibilisation\* que font courir les isocyanates du type MDI, il est recommandé d'utiliser des résines qui n'en contiennent pas.

L'exposition respiratoire des salariés doit être réduite en maintenant la concentration en polluants dans l'atmosphère du poste de travail la plus basse possible et en-dessous des valeurs limites d'exposition professionnelle lorsqu'elles existent. Pour cela, des dispositifs de ventilation, d'encoffrement et de captage des émanations au plus proche de leur point d'émission sont à employer de façon prioritaire.

Par ailleurs, le port de gants et une bonne hygiène corporelle sont nécessaires lors de la fabrication des noyaux\*.

▷ **Risques d'incendie**

Les risques d'incendie résultent essentiellement de l'utilisation de produits organiques inflammables, en particulier des solvants contenus dans certaines résines ou utilisés pour le nettoyage des outils en contact avec ces résines.

Les principales mesures de prévention lors de l'utilisation de produits inflammables sont les suivantes :

- éviter les accumulations de charges\* électrostatiques en assurant l'équipotentialité et la mise à la terre des éléments de l'installation, notamment lors des transferts entre cuves,
- installer le stock dans un local aéré à l'abri de la chaleur et de toute source d'inflammation,
- n'entreposer, au poste de travail, que les quantités nécessaires à 1 ou 2 jours de travail,

- maintenir fermés les réservoirs installés à poste fixe dans l'atelier,
- interdire de fumer sur le lieu de travail,
- interdire les travaux nécessitant la présence d'une flamme nue,
- ne pas utiliser d'appareil provoquant des étincelles ou dégageant une forte chaleur par rayonnement (radiateur) ou par frottement mécanique (machine-outil, outil portatif).

Les réactions exothermiques de prise des résines peuvent être à l'origine d'incendies, particulièrement en cas :

- de présence d'une quantité de sable insuffisante dans le malaxeur lors de l'introduction des composants de la résine,
- d'un mauvais dosage des composants de la résine.

Les principales mesures de prévention consistent à :

- contrôler visuellement ou de façon automatique la présence d'une quantité suffisante de sable avant l'introduction de la résine,
- utiliser des flexibles et des pompes doseuses dédiés à un type de produit, comportant une indication du produit concerné et conçus afin d'éviter tout risque d'erreur de connexion.

▷ **Risques liés aux bruits et aux vibrations**

Dans les ateliers de fabrication de moules en sable, de nombreux équipements sont émetteurs de bruit. Parmi les plus bruyants, on trouve les machines servant à projeter le sable dans les châssis\* et des dispositifs à chocs servant à tasser le sable.

## ENCADRÉ 9

## Risques liés aux vibrations

### Vibrations transmises aux membres supérieurs

De nombreuses machines portatives (burineurs, meuleuses, fouloirs...) ou guidées à la main génèrent des vibrations et des chocs qui se transmettent dans la main et le bras de l'opérateur. Elles peuvent entraîner des douleurs et une gêne fonctionnelle de la main ou des articulations. A long terme, des lésions vasculaires (syndrome de Raynaud ou maladie des doigts blancs), des troubles neurologiques ou ostéo-articulaires irréversibles peuvent apparaître. La gêne fonctionnelle au niveau de la main ou du bras diminue la dextérité ce qui constitue un facteur de risque supplémentaire lors de l'emploi des outils ou machines.

L'évaluation des risques associés aux vibrations passe par une estimation de l'exposition des salariés qui dépend des caractéristiques vibratoires des machines utilisées et de la durée d'exposition. Le Code du travail demande aux employeurs de s'assurer que les niveaux vibratoires équivalents sur 8 heures sont inférieurs à  $5 \text{ m/s}^2$  ; une démarche préventive doit être mise en place dès que le seuil de  $2,5 \text{ m/s}^2$  est atteint.

Les principaux moyens de prévention sont :

- choisir des machines, des outils et des équipements générant le moins de vibrations possible. Le Code du travail demande au constructeur de réduire les vibrations au plus bas niveau possible et d'avertir les usagers sur les risques à l'occasion de toute nouvelle installation. Il prévoit en outre que les constructeurs précisent dans les notices les niveaux vibratoires (en  $\text{m/s}^2$ ),
- maintenir les machines et les outils en bon état,
- maintenir une température suffisante, en particulier pour les mains ; le froid et l'humidité peuvent favoriser l'apparition des symptômes,
- aménager les postes de travail de façon à diminuer les efforts de poussée et de préhension et à améliorer les postures de travail,
- limiter la durée de l'exposition en aménageant des temps de récupération,
- former les salariés aux bons gestes de travail et s'assurer de la pérennité de l'action.

### Vibrations transmises à l'ensemble du corps

Les engins de manutention transmettent des vibrations à l'ensemble du corps lors de leur conduite sur des sols irréguliers. Ces vibrations sont à l'origine d'affections lombaires chroniques reconnues comme maladies professionnelles (tableau n°97) (voir ED 6018).

## ENCADRÉ 10

## Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS)

### Généralités

Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS) sont des maladies des tissus mous. On retrouve sous ce sigle des maladies telles que le syndrome du canal carpien (TMS-MS le plus fréquent), des tendinites de l'épaule ou du coude ou des bursites appelées aussi hygromas. Ces maladies sont indemnisées au titre du tableau n° 57 des maladies professionnelles du régime général. Elles sont passées d'environ 3 000 cas au début des années 90 à plus de 43 000 en 2011 et se sont stabilisées depuis au-dessus de 40 000 cas. Il s'agit donc d'un problème essentiel de santé au travail.

Les facteurs de risque professionnel de TMS-MS sont de deux ordres : d'une part, les facteurs de risque biomécaniques liés aux gestes de travail, et d'autre part, le stress. L'organisation du travail, les facteurs psychosociaux qui peuvent être considérés comme des facteurs de risque indirects appelés encore déterminants des TMS vont être à l'origine du niveau de sollicitation biomécanique et du stress. Seule une étude ergonomique est de nature à comprendre les raisons de la survenue des TMS-MS dans l'entreprise pour permettre la mise en place de solutions efficaces de prévention.

### Démarche ergonomique de prévention

La prévention des TMS-MS passe nécessairement par une phase diagnostic, préalable indispensable à la phase de maîtrise du risque. Cette phase diagnostic se divise elle-même en 3 étapes.

#### **Mobiliser** : *s'accorder pour agir ensemble*

Il s'agit de mobiliser les membres de l'entreprise afin qu'ils établissent dans la transparence les conditions de l'action de prévention.

#### **Investiguer** : *comprendre pour agir efficacement*

Tout d'abord, il convient de mettre en place une structure de pilotage placée sous l'autorité du chef d'entreprise. Un animateur compétent en ergonomie devra aussi faire partie du comité. Il sera le moteur de l'action. Il conduira l'étude ergonomique et présentera les différentes actions. Elles sont au nombre de deux :

- Connaître le risque  
« Connaître le risque » vise à recueillir des données sur la santé des salariés et sur l'entreprise. Cette étape permet d'élaborer les premières hypothèses qui orienteront le choix des situations de travail à analyser.
- Analyser les situations de travail, identifier les facteurs de risque et leurs déterminants  
L'objectif est d'apprécier le vécu du travail, d'évaluer les déterminants, notamment les facteurs psychosociaux et le stress afin d'analyser les situations de travail à risque de TMS. Cette étape, propre à la démarche ergonomique, permet de formuler des hypothèses sur les relations entre les déterminants et les facteurs de risque de TMS. L'évaluation des facteurs de risque biomécanique représente la dernière étape de l'investigation. Elle ne peut être conduite efficacement que si des hypothèses sont formulées consécutivement à l'analyse de l'activité.

#### **Maîtriser** : *agir sur les situations de travail*

La maîtrise du risque de TMS passe par la transformation des situations de travail. Les contraintes de travail peuvent être réduites en agissant sur :

- la conception des outils,                      • le poste de travail,                      • l'organisation du travail.
- la conception des produits,                • l'organisation de la production,

Cette liste n'est pas exhaustive et seuls les résultats de la démarche ergonomique permettent de proposer des pistes de prévention adaptées à chaque entreprise. Les pistes de prévention doivent être étudiées et mises en place par des groupes de travail qui incluent des salariés et des experts de l'entreprise (médecin du travail, agent des méthodes, de la conception, des ressources humaines...). Il est évident que la prévention des TMS passe par une volonté d'action et nécessite du temps. Différents documents et vidéos édités par l'INRS sont susceptibles d'aider les entreprises à s'investir dans leur prévention : ED 957, ED 6144, DV 376, DV 356, DV 375.

La lutte contre le bruit commence dès la conception des machines. Le niveau sonore en production doit être un paramètre déterminant dans le choix des machines et intégré au cahier des charges. Certaines machines générant un niveau sonore élevé peuvent être encoffrées afin de réduire l'exposition des salariés.

Les équipements générant du bruit doivent être isolés du reste de l'atelier et installés dans des locaux spécifiques. Les opérateurs affectés à la fabrication des moules et des noyaux\* sont cependant très souvent exposés au bruit, ils doivent alors porter des équipements de protection individuelle adaptés.

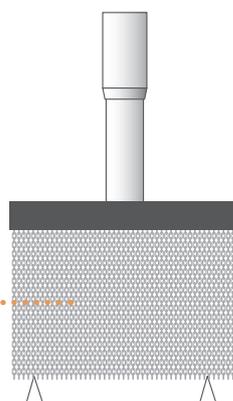
Par ailleurs, certains équipements comme les machines à chocs (fouloir) servant à tasser le sable génèrent des vibrations susceptibles d'induire des risques pour la santé des salariés (voir encadré 9).

#### ▷ Risques de troubles musculo-squelettiques

La finition des noyaux\* nécessite des opérations manuelles très répétitives pouvant générer des troubles musculo-squelettiques. L'élimination manuelle de la bavure de plan de joint sur les noyaux\* est en particulier génératrice de ce type de pathologie. Deux voies complémentaires sont possibles pour prévenir ces troubles :

- quand cela est possible, la mécanisation des opérations d'ébavurage permet d'éliminer ou de diminuer le risque; elle peut être réalisée par des dispositifs à chaînettes qui suppriment ou diminuent les interventions manuelles (voir schéma ci-dessous),

#### DISPOSITIF D'ÉBAVURAGE À CHAÎNETTES



- l'approche ergonomique pour adapter les postes de travail et les gestes pratiqués permet de diminuer le risque de survenue de ces troubles (voir encadré 10).

## 4.4 Coulée

### 4.4.1 Généralités

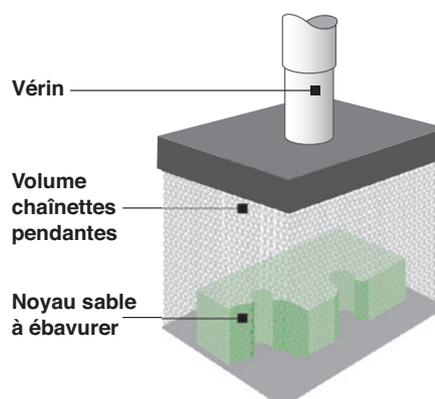
La coulée consiste à introduire le métal liquide dans un moule puis à le solidifier de façon à obtenir une pièce ou une grappe de pièces. Les différentes technologies de moulage peuvent être caractérisées par la façon dont le métal liquide est introduit dans le moule et la nature de ce dernier. La maîtrise des températures opératoires est essentielle pour assurer la qualité des pièces produites, ce qui impose des cadences déterminées.

### 4.4.2 Technologie

Avant moulage, le métal liquide est contenu dans une poche\* ou dans un four de maintien. Il est transféré dans le moule ou dans un dispositif intermédiaire (cylindre pour l'injection sous pression par exemple), soit directement par gravité ou par mise sous pression du four, soit par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique automatique ou manuel (louche\* ou creuset\*).

#### 4.4.2.1 Moulage en moule de sable par gravité

Le métal liquide est coulé à l'aide d'une louche\* ou d'une poche\* de coulée dans le moule qui peut comporter ou non des noyaux\* en sable suivant le



type de pièces à fabriquer. Les opérations peuvent être soit entièrement manuelles soit plus ou moins automatisées.

#### 4.4.2.2 Moulage en coquille par gravité

Le procédé de moulage en coquille est le plus simple. Le métal liquide est coulé directement à l'aide d'une louche\* ou d'une poche\* de coulée dans un moule métallique qui peut comporter des noyaux\* métalliques (broches) ou en sable suivant le type de pièces à fabriquer. La coquille est montée sur un bâti plus ou moins mécanisé appelé coquilleuse.

Pour des productions en grande série, les coquilleuses peuvent être installées sur des tables tournantes à plusieurs postes ou être basculantes; le mouvement tournant est indexé sur des postes fixes mécanisés pour des opérations comme le poteyage\*, la mise en place des noyaux\*, la fermeture du moule, la coulée et le démoulage.

L'automatisation des différents mouvements peut être partielle ou totale, y compris l'apport de métal liquide et la coulée.

#### 4.4.2.3 Moulage en coquille basse pression

Le principe consiste à faire remonter l'alliage liquide vers le moule en appliquant une pression dans le four. Le moule est placé directement sur le four. La faible pression (40 à 60 kPa) est maintenue tout le temps de la solidification. Les machines pour le moulage à basse pression sont souvent très automatisées et destinées à des productions en grandes séries. Les faibles pressions appliquées autorisent l'utilisation de noyaux\* en sable, voir de moules entièrement en sable pour la réalisation de prototypes.

#### 4.4.2.4 Moulage sous pression

L'alliage liquide est injecté sous forte pression dans un moule métallique. L'alliage contenu dans un cylindre est poussé par un piston et injecté dans le moule par une buse. La pression en fin d'injection peut atteindre 100 MPa; le temps d'injection est très court de l'ordre de 0,1 seconde.



Coulée à la louche dans un moule métallique



Poste de moulage manuel sur une coquilleuse



Extraction d'une pièce d'une coquilleuse



© Florence &amp; Peillon

Machine de moulage sous pression

Les moules sont montés sur les plateaux d'une presse hydraulique horizontale de grande puissance. L'injection se fait par un système dit à chambre froide dans lequel le système d'injection est situé en dehors du four. Le cylindre, généralement horizontal, possède un orifice de remplissage par lequel le métal liquide est introduit, manuellement, à la louche\* ou à l'aide d'un système de coulée automatique (petite poche\* verseuse, poche\* à quenouille\*, louche\* mécanique).

Le cycle de fonctionnement d'une machine à injecter peut être entièrement automatique.

#### 4.4.3 Risques et prévention

##### 4.4.3.1 Risques communs aux différentes technologies et prévention

Les risques principaux sont ceux :

- de brûlures,
- de corps étranger dans l'œil,

- de troubles lombaires dus à la manutention et à des postures dangereuses,
- de blessures par les machines.

##### ▷ Risques de brûlures

Elles peuvent être provoquées par des projections de métal liquide, des contacts avec des surfaces chaudes ou les torches de mise en température notamment lors d'opérations de maintenance.

Les projections peuvent être provoquées par :

- le contact du métal liquide avec de l'humidité sur les accessoires de transfert (louche\*...) ou dans un moule lors de sa mise en service,
- le versement ou la projection de métal liquide lors de la décélération brutale d'un élément de coulée automatique ou lors d'un mouvement imprévu d'un robot de coulée polyarticulé.

La prévention du risque de brûlures est basée essentiellement sur la réduction du nombre de situations de contacts entre opérateurs et matière chaude et sur le port d'équipements de protection individuelle adaptés réduisant la gravité potentielle de l'accident. Le poste doit être conçu de façon à assurer une bonne accessibilité aux zones d'intervention de l'opérateur, limitant ainsi les risques de contact avec des produits chauds.

Les mesures de prévention permettant de limiter les risques de projection sont :

- utiliser au contact du métal des outils secs ; pour cela, les stocker à l'abri de l'humidité dans un endroit propre et sec ; un rack de rangement équipé d'une rampe de brûleurs à gaz peut être utilisé,
- avant d'utiliser des outils au contact du métal liquide, s'assurer par un examen visuel soigné que leur poteyage\* est suffisant, bien réalisé et séché ; les préchauffer avant de les introduire dans le métal liquide,
- utiliser des moules métalliques secs, correctement poteyés et préchauffés.

##### ▷ Risques de corps étranger dans l'œil

Afin de limiter les risques de projection, l'usage de moyens d'aspiration doit être privilégié pour éliminer les grains de sable. Des lunettes de protection doivent être portées en permanence par les opérateurs.

### ▷ Risques de troubles lombaires liés à la manutention, au transfert et aux postures dangereuses

La mise en place des noyaux\* dans les moules peut imposer la manutention de charges lourdes et des postures dangereuses générant à terme des troubles lombaires. La prévention de ces risques passe par une adaptation de la hauteur du plan de travail qui devra être réglable en cas de fabrication de moules de tailles très différentes et, si nécessaire, par l'utilisation de dispositifs d'aide à la manutention des noyaux\*.

### ▷ Risques de blessures par les machines

Ces blessures peuvent avoir pour origine :

- le heurt par des parties mobiles en mouvement ou par des éléments de manutention (poche\* de coulée automatisée, robot de coulée, manipulateur automatique ou semi-automatique),
- le coincement ou l'écrasement de parties mobiles contre des parties fixes,
- le coincement, l'écrasement ou le cisaillement par des éléments mobiles de machines ou d'autres équipements de travail laissés accessibles en permanence ou à certains moments de leur cycle de fonctionnement,
- l'écrasement lors de la descente par gravité de la partie supérieure d'un moule,
- le heurt par des canalisations hydrauliques flexibles se déconnectant accidentellement.

En accord avec la démarche générale de prévention présentée dans l'encadré 1, des dispositions techniques de prévention doivent être prises dès la conception des machines pour protéger les opérateurs et notamment leurs membres supérieurs des risques d'écrasement ou de cisaillement.

Ces dispositions peuvent consister en une association de :

- protecteurs fixes,
- protecteurs mobiles contrôlés en position par des dispositifs de verrouillage, voire d'inter-verrouillage, de préférence motorisés en cas de fréquence importante de manœuvre ou de mauvaise manœuvrabilité,

- de dispositifs de protection immatérielle,
- de commandes bimanuelles à action maintenue pendant les phases dangereuses du cycle.

Les dispositions techniques intégrées dans les circuits de commande doivent fiabiliser l'activation ou la désactivation des moyens de protection y compris lors d'un redémarrage provoqué après un arrêt consécutif à une coupure de courant (reprise en séquence du cycle).

Les moyens utilisés doivent tenir compte des conditions d'utilisation de ces machines (empoussièrement, chaleur). En particulier, il est difficile d'utiliser des cellules et des barrages photoélectriques directement sur les machines.

#### 4.4.3.2 Risques spécifiques au moulage en moule destructible

L'échauffement du moule et des noyaux\* provoque un éclatement des grains de sable et la décomposition thermique des liants organiques. Il se dégage alors des particules fines contenant de la silice cristalline et de nombreux produits de décomposition. La nature des dégagements dépend principalement de la nature des liants utilisés, de la température de coulée, de la nature du métal et du sable utilisé. Ces fumées et vapeurs vont contenir du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, des aldéhydes (formaldéhyde par exemple), des hydrocarbures aliphatiques et aromatiques...

L'inhalation de particules de silice cristalline et de produits de décomposition entraîne des risques pour la santé des personnes exposées. Du fait de la température élevée, les gaz et les fumées vont être entraînés vers le haut. Des dispositifs de captage placés au-dessus des points d'émission permettent l'aspiration des polluants et leur évacuation vers l'extérieur. La conception de l'atelier doit permettre l'évacuation de la pollution résiduelle évitant leur recyclage dans l'atmosphère du bâtiment.

#### 4.4.3.3 Risques spécifiques au moulage en coquille

Le moulage en coquille est utilisé pour des productions de pièces en moyennes ou grandes séries

(voir schéma ci-dessous). Les qualités métallurgique et mécanique des pièces sont obtenues grâce à un subtil équilibre thermique du moule. Celui-ci est parfois difficile à définir ; le maintenir d'une coulée à l'autre est le gage d'une bonne qualité des pièces et donc d'une bonne productivité. Cette contrainte thermique se traduit, pour l'opérateur, par une cadence à respecter rigoureusement. Le moindre incident amplifie ainsi les risques au poste de travail, car des actions de récupération sont entreprises.

Ces incidents peuvent être provoqués, par exemple, par une retouche ponctuelle de poteyage\*, la casse d'un noyau\* lors de sa mise en place, le grippage d'une broche (noyau\* métallique) ou d'un tiroir du moule métallique, la panne d'un thermocouple de régulation\*, l'interruption (même courte) du mouvement de la louche\* automatique...

#### 4.4.3.4 Risques spécifiques au moulage sous pression

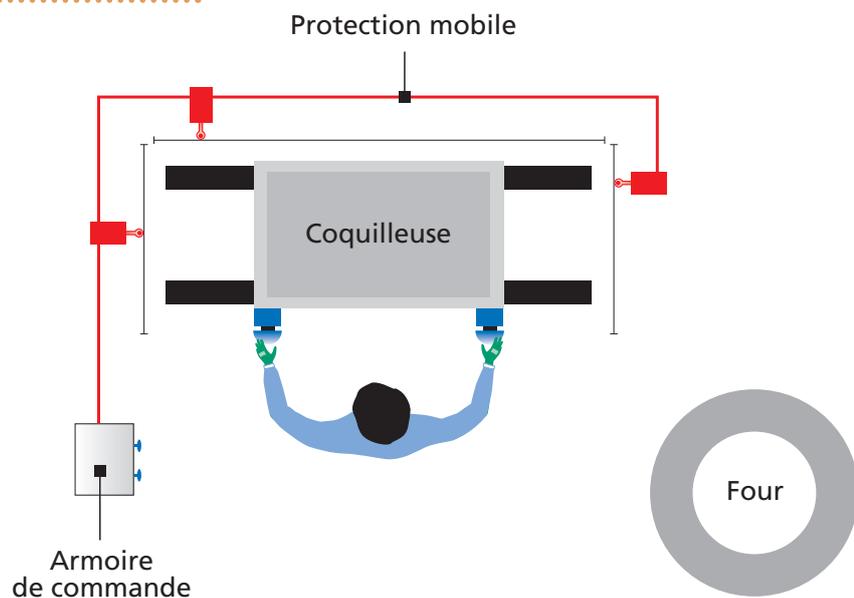
Les risques spécifiques au moulage sous pression résultent de l'utilisation de hautes pressions, du nombre important de dispositifs en mouvement et de l'automatisation importante du fonctionnement

des machines. Ces spécificités entraînent des risques mécaniques, thermiques, acoustiques et chimiques particuliers dont la prévention doit être prévue dès la conception de la machine. La norme NF EN 869 rassemble les prescriptions de sécurité pour les machines de moulage sous pression.

Les risques mécaniques résultent des mouvements du moule, des dispositifs de verrouillage du moule, des noyaux\*, des éjecteurs\*, du système d'injection et des protecteurs. Les opérateurs doivent être tenus éloignés des composants en mouvement par des protecteurs mobiles et fixes répondant aux prescriptions de la norme NF EN 869. Dans le cas où des dispositifs complémentaires (robot d'enlèvement des pièces, système d'alimentation automatique en métal liquide) sont associés à la machine d'injection, une enceinte périphérique de sécurité incluant ces dispositifs doit être utilisée (voir encadré 11).

Les installations automatisées de pose d'inserts ou d'extraction de la pièce moulée doivent être positionnées de façon à ne pas engendrer de risques pour l'opérateur. En règle générale, elles doivent être implantées du côté opposé au poste de travail. Cette mesure est impérative pour les installations au sol.

#### COQUILLEUSE MÉCANISÉE AVEC GRILLES DE PROTECTION ET COMMANDE BIMANUELLE



Les zones où l'accès est possible devront être équipées de façon à protéger les opérateurs d'un contact avec des organes en mouvement ou de chute de pièces.

Les phases de réglage des machines de moulage peuvent présenter des risques accrus par rapport au fonctionnement normal car elles peuvent nécessiter un fonctionnement en mode manuel avec un certain nombre de dispositifs de sécurité désactivés.

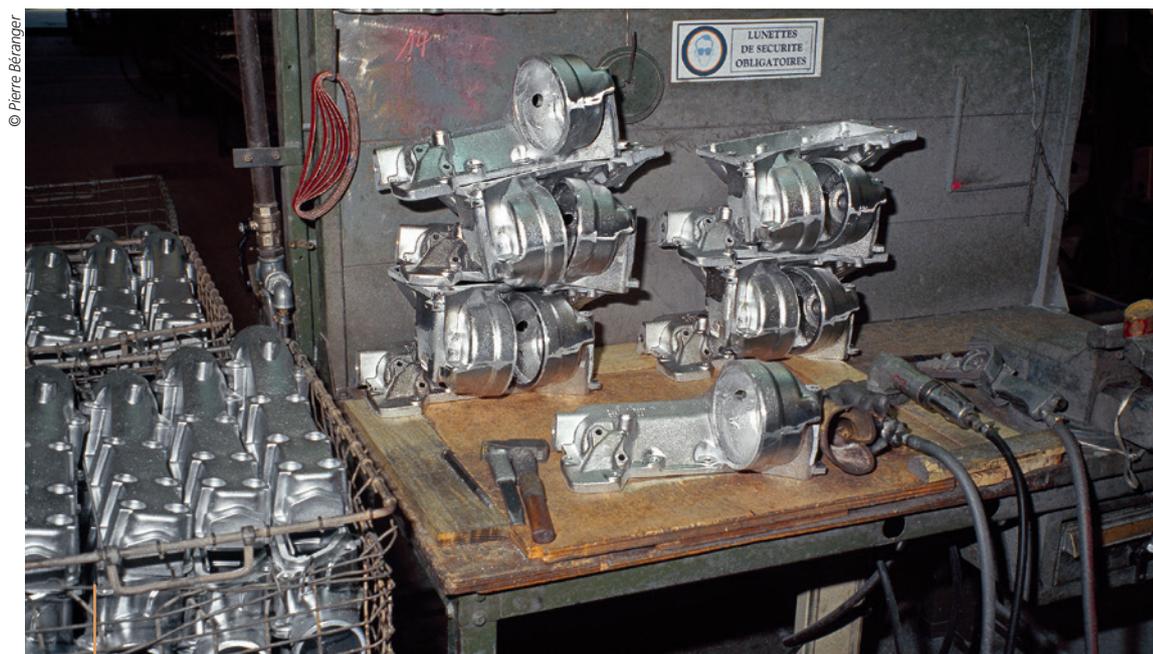
Les projections de métal liquide font courir des risques thermiques et mécaniques. Les projections peuvent se produire en cas de fuite entre les différentes parties d'un moule ou au niveau du système d'injection. Les protecteurs destinés à protéger des parties en mouvement doivent également être réalisés de manière à protéger les personnes des projections de métal liquide.

Les fluides hydrauliques utilisés peuvent être à l'origine d'incendies en cas de fuite à cause de la présence de métal liquide. Pour limiter ce risque, les fluides employés doivent être difficilement inflammables (norme NF ISO 7745).

Le poteyage\* des moules par pulvérisation entraîne la formation d'un aérosol qui peut être inhalé par les salariés. L'automatisation de cette opération conduit souvent à pulvériser un excès de produit, ce qui, conjugué avec la cadence de production élevée de ce type de machine, augmente le risque d'inhalation de l'aérosol.

Les graisses utilisées pour la lubrification du nez de piston, portées à haute température, émettent des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui sont classés cancérigènes\* par la communauté européenne.

Une évacuation des polluants émis lors de ces opérations est donc nécessaire. La solution la plus efficace est l'installation de systèmes de captage à la source. La conception de tels systèmes nécessite de prendre en compte les contraintes liées à la production, notamment celles liées aux systèmes de maintenance mécanique. Une solution efficace est d'utiliser le mouvement ascendant des polluants en plaçant le dispositif de captage au-dessus de la presse, celui-ci pouvant éventuellement être mobile pour faciliter les interventions lourdes comme le changement de moule.



© Pierre Béranget

Pièces en alliages d'aluminium

## ENCADRÉ 11

### Installations complexes automatiques (chantiers de moulage)

Les installations complexes désignent les chantiers de moulage (en coquille, sous pression, au sable) fortement automatisés, comprenant plusieurs postes de moulage avec des équipements communs à ces différents postes (par exemple un ou des robots de coulée).

Les risques décrits au § 4.4.3.1. sont ici généralement tous présents, mais les circonstances pouvant conduire à un accident plus nombreuses et plus sournoises que dans le cas de machines ou d'équipements plus simples. Il est en effet difficile de prévoir en toute circonstance le comportement du système de production, par exemple lors d'une action entreprise par un opérateur sur un élément du système ou lors de la coactivité d'opérateurs de production et de maintenance.

Afin de réduire ces risques, il est proposé **de sectoriser les installations** automatisées. La sectorisation consiste à définir des zones homogènes d'activités et de risques pour choisir les dispositifs de protection les plus adaptés. L'accès d'un opérateur dans une telle zone entraînera l'arrêt de sécurité de ces équipements actifs sans pour autant forcément arrêter l'ensemble de l'installation.

La sectorisation doit permettre d'assurer pleinement la sécurité des opérateurs sans nuire à la productivité. Elle peut varier au cours du cycle de production.

Par exemple, dans le cas d'une installation comprenant un robot de coulée et plusieurs machines de moulage, la zone de circulation du robot de coulée peut être rendue inaccessible en fonctionnement automatique. De la même façon, l'accès aux machines de moulage doit être équipé de barrières matérielles ou immatérielles. L'accès à une des machines de moulage, alors que le robot de coulée ne s'y trouve pas, entraîne l'arrêt de sécurité de cette seule machine ; tandis qu'en présence du robot, il y a arrêt de la machine de moulage et du robot. De la même façon, l'accès à la zone du robot entraîne l'arrêt de celui-ci mais aussi des machines de moulage rendues accessibles lors de cet accès.

Cette gestion dynamique des dispositions de protection mises en œuvre en fonction de l'évolution temporelle des différentes zones de risques, est permise par la sectorisation de l'installation en zones homogènes d'activité et de risques. Plus cette sectorisation est réfléchie, meilleures sont les performances de sécurité et de productivité de l'ensemble de l'installation.

Outre les actions de production proprement dites, la sectorisation de l'installation doit également prendre en compte les opérations de maintenance, réglage, prélèvement d'échantillons (pièces ou métal).

Par exemple, il doit être prévu des zones de repli et de maintenance sans risque mécanique pour les opérateurs réalisant la maintenance ou la réparation d'un robot ou d'une machine. Les moyens d'amener ce robot, voire cette machine dans la zone de maintenance ainsi aménagée, doivent aussi être prévus à la conception. Ainsi, sur le schéma ci-contre, des zones de maintenance ont été aménagées à chaque extrémité des rails de circulation/guidage des robots de coulée. Un volet mobile contrôlé en position, permet de :

- sortir le robot défectueux de sa zone de fonctionnement automatique (volet ouvert),
- s'opposer à un mouvement de sortie intempestif d'un robot de cette zone (volet fermé).

Si l'installation comprend deux lignes de circulation de robots parallèles comme dans l'exemple, un couloir pour les opérateurs de maintenance peut être aménagé pour sortir un robot défectueux. Ce couloir leur permet de commander sans risque la sortie du robot en mode manuel.

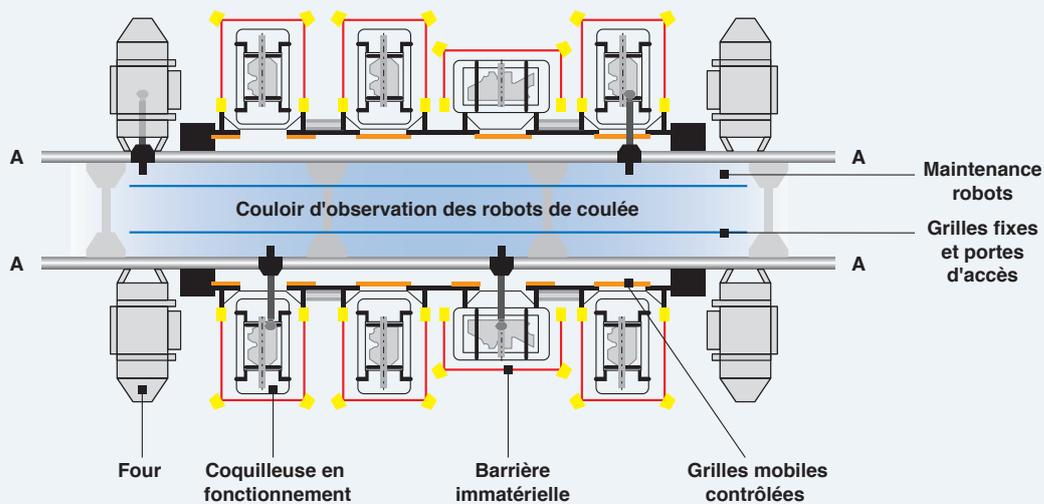
Afin de pouvoir concrétiser les principes fondamentaux mentionnés ci-dessus, la conception de l'architecture des circuits de puissance (et de commande) doit être adaptée à la structure des différents secteurs (zones homogènes d'activité et de risques...) qui doivent être au préalable définis. Il faut, en effet, pouvoir arrêter (arrêt d'urgence, arrêt contrôlé au sens de la norme NF EN ISO 13850) les parties dangereuses sur lesquelles les opérateurs interviennent, tout en ne coupant pas les énergies sur les autres parties de l'installation automatisée où lesdits opérateurs ne peuvent pas accéder.

Le système de contrôle/commande doit permettre d'isoler une zone donnée de ses énergies ou de la placer sous ordre de marche manuelle (accomplissement d'opérations de réglage et mise au point par exemple).

## ENCADRÉ 11 (suite)

Il est également nécessaire pour les installations les plus complexes de prévoir des possibilités de marche en mode automatique de certaines parties de l'installation (mode automatique localisé) sans interaction avec le reste de l'installation afin de faciliter la mise au point de l'ensemble de l'installation.

### EXEMPLE D'UN CHANTIER DE MOULAGE AUTOMATIQUE



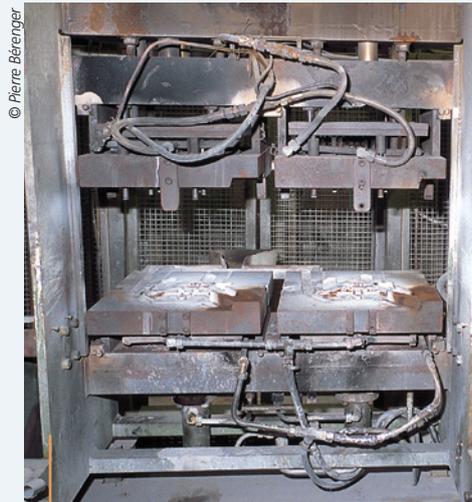
A : zone maintenance aménagée extérieurement à la zone d'évolution des robots de coulée avec volet mobile de protection contrôlé en position.

### En marche de production normale

La zone d'évolution des louches\* robotisées a été totalement clôturée par des panneaux grillagés fixes.

Afin de permettre aux robots de coulées de sortir de leur zone de déplacement pour verser le métal liquide qu'ils transportent, des ouvertures masquées par des volets mobiles ont été aménagées dans l'enceinte grillagée au droit de chaque poste de moulage.

Les volets mobiles correspondant au poste de moulage sollicité s'ouvrent pour laisser le passage du robot de coulée et se referment lorsqu'il revient à sa position initiale. Ces volets mobiles sont normalement fermés.



Coquilleuse automatisée, le moule est ouvert ; en arrière plan les volets mobiles permettant l'accès du robot de coulée

## ENCADRÉ 11 (suite)



Coquilleuse automatisée protégée par des barrières immatérielles



Couloir de maintenance entre deux lignes de coquilleuses automatiques

Si, lors de l'ouverture de volets mobiles, une personne pénètre dans la zone de la coquilleuse, des barrières immatérielles permettent d'arrêter la coquilleuse ainsi que le robot de coulée accessible. Lorsque les volets mobiles sont fermés, l'entrée d'une personne dans la zone de la coquilleuse n'entraîne l'arrêt que de la seule machine de moulage. Si le robot doit à ce moment-là se diriger vers ce poste de moulage, il se met en attente. La remise en route des machines concernées nécessite une action volontaire de l'opérateur.

### En maintenance et en réglage

Afin de pouvoir exécuter des réglages et des essais sans risque pour celui qui en est chargé, des dispositifs de commande situés en limite extérieure de la zone de risque ont été mis en place.

La conception de l'installation permet également la réalisation des opérations de maintenance des robots de coulée dans une zone située hors de l'enceinte grillagée et obturée par un volet de protection.

Afin de pouvoir, en toute sécurité, amener un robot défaillant en zone de maintenance, il est possible de le commander en mode manuel depuis une boîte à boutons accessible d'un couloir situé entre les enceintes des deux installations.



Vue d'ensemble d'un chantier de moulage automatisé comprenant plusieurs coquilleuses et robots de coulée

## 4.5 Décochage des moules en sable

### 4.5.1 Aspects techniques

Les opérations de décochage consistent à séparer les moules et les noyaux\* (en sable) des pièces. Il existe plusieurs procédés de décochage :

- **par vibration** : la transmission des vibrations à l'ensemble châssis\*/moule/pièce provoque la destruction du moule. L'opération est, en général, réalisée sur une grille à travers laquelle le sable passe alors que les pièces sont évacuées par le haut,
- **par défonçage** : un poinçon passe à travers le châssis\* en dégageant le sable et les pièces, la séparation est ensuite réalisée à l'aide d'une grille vibrante ou d'un tonneau,
- **en tonneau** : les pièces et leurs moules sont introduits à une extrémité d'un tonneau à double paroi en rotation. Durant la traversée du tonneau, le sable passe de l'intérieur à l'extérieur par un ensemble de trous dispersés dans la paroi. Les pièces sont récupérées à la sortie. Ce type de procédé nécessite l'absence de châssis\*,

- **par chocs** : le moule est détruit pour séparer les pièces et le sable par une des méthodes suivantes :
  - en faisant chuter l'ensemble châssis\*/moule/pièce au sol après l'avoir soulevé,
  - en frappant manuellement sur le châssis\* avec des marteaux ou des masses,
  - en défonçant le moule à l'aide de marteaux pneumatiques.

Ce procédé, souvent manuel, est utilisé pour le décochage de pièces unitaires dans les fonderies traditionnelles.

Quand les moules comportent des noyaux\*, leur élimination passe par des opérations complémentaires, souvent nécessaires à cause de la température de fusion relativement faible des alliages d'aluminium qui conduit à une pyrolyse incomplète des liants organiques. Elles peuvent être réalisées manuellement mais aussi à l'aide de machines, les déboureuuses, les dénoyauteuses ou les déssableuses. Leur fonctionnement consiste à transmettre des chocs à la pièce pour fractionner les noyaux\* (principe du marteau piqueur) puis à secouer la pièce pendant un temps assez long pour réduire les noyaux\* par auto-abrasion et éliminer le sable fluide par les orifices de la pièce creuse.



© INRS / Bernard Fibret

Tonneaux de décochage équipés d'un système de captage des poussières

### 4.5.2 Risques et prévention

Les opérateurs aux postes de décochage sont soumis à plusieurs types de risques :

- risques chimiques à cause du dégagement de polluants surtout sous forme de poussières, composées en grande partie de silice cristalline provenant du sable mais aussi des résidus de la pyrolyse des liants organiques,
- risques mécaniques engendrés par les dispositifs tournants ou vibrants;
- risques dus aux bruits générés par les différents équipements,
- risques liés à la manutention manuelle,
- risques de projection de particules solides dans les yeux.

La prévention des risques liés aux émissions de poussières par les procédés de décochage nécessite la mise en place de dispositifs de captage à la source. L'encoffrement du procédé est la technique la plus efficace; elle permet également de traiter le poste sur le plan acoustique; elle n'est en général possible que pour des pièces de tailles limitées. Dans les autres cas, des captages localisés au plus proche de l'émission sont nécessaires. Il est possible de se référer à la brochure de l'INRS sur la ventilation des postes de décochage en fonderie (ED 662).

## 4.6 Parachèvement

### 4.6.1 Généralités

Les petites entreprises de fonderie effectuent rarement l'usinage des pièces fabriquées. Ceci nécessite en effet des investissements lourds ainsi qu'un savoir-faire différent. Toutefois, avant d'expédier les pièces vers les centres d'usinage, il convient de les débarrasser des appendices et éléments accessoires nécessaires à leur fabrication (masselottes\*, descentes de coulée ou bavures...). En revanche, certaines fonderies développent actuellement des activités de pré-usinage dont les principaux avantages résident dans l'amélioration de la qualité des pièces livrées et la récupération de quantités significatives d'aluminium.

Le parachèvement\* requiert des effectifs de production importants pouvant atteindre 50% de la main d'œuvre totale. Il est souvent fait appel à des salariés peu qualifiés et intérimaires. En réalité,

la capacité de moulage des pièces détermine la véritable capacité de production de l'atelier. Dans des organisations de production en flux tendus, le parachèvement\* subit avec beaucoup plus d'ampleur les fluctuations d'activité : il est souvent sensé rattraper le temps perdu en amont...

Le parachèvement\* comprend les principales opérations suivantes :

- égrappage de pièces,
- élimination des descentes et attaques de coulées,
- découpe des masselottes\*,
- ébavurage,
- pré-usinage avec perçages, fraisages et préparation des points de départ,
- grenailage ou sablage,
- traitement thermique,
- contrôles divers (radioscopie, ressuage et test aux UV, étanchéité, dureté, métrologie...),
- identifications par différents poinçons,
- mise en conteneurs pour stockage ou livraison.

### 4.6.2 Équipements

Pour réaliser tout ou partie des opérations mentionnées ci-dessus, des équipements de travail sont nécessaires. Ils sont spécifiques à l'activité ou même aux pièces fabriquées; ils sont également issus d'autres activités traditionnelles.

L'automatisation des différentes opérations dépend des volumes de production mais cet aspect n'est pas le seul pris en compte au moment des décisions d'investissements. En effet, l'univers de la fonderie apporte des contraintes importantes : sable et poussières, chaleur, vibrations mais aussi variations non négligeables dans les dimensions des pièces brut de fonderie et présence de bavures pouvant perturber toute production automatisée. De plus, les systèmes automatisés de production nécessitent un savoir-faire que les responsables de PME préfèrent affecter à la maîtrise de la coulée, toujours considérée comme la partie noble du métier de fonderie.

L'automatisation du parachèvement\* se limite donc le plus souvent à l'utilisation de machines capables de réaliser un cycle de production de façon autonome; quelques entreprises s'équipent toutefois d'un centre de pré-usinage dont la mise au point est souvent difficile et longue. Dans ce contexte, l'activité du salarié évolue vers l'exécution



© Pierre Bérenger

Découpe de masselottes à la scie à ruban



© Pierre Bérenger

Finition d'une pièce à l'aide d'un outil portatif pneumatique

de tâches secondaires multiples, entrecoupées d'opérations de déchargement et de chargement de la machine. Ceci entraîne des cadences de travail élevées avec peu de temps de récupération des efforts physiques réalisés. La pénibilité du travail est souvent augmentée du fait de l'ambiance thermique sonore et de l'empoussièrement.

Cette description succincte permet d'apprécier l'environnement et la pénibilité des postes de parachèvement\*, qu'ils soient manuels, automatisés ou robotisés.

Les équipements de travail du parachèvement\* sont principalement les suivants :

- **les casse-jets**, sortes de pinces coupantes, presses mécaniques ou coins hydrauliques qui permettent d'éliminer les descentes et attaques de coulée,
- **les scies à ruban** pour éliminer les masselottes\* ou égrapper les pièces (à noter que les scies circulaires sur table à lame rétractable sont plus rarement utilisées),
- **les cuves vibrantes ou tournantes** contenant des billes abrasives pour ébavurer, par exemple, les pièces de petite taille,

### Ébavurage thermique

Ce procédé consiste à introduire des pièces dans une enceinte fermée, dans laquelle on introduit un mélange de gaz combustible (méthane) et d'oxygène. La mise à feu, au moyen d'une bougie d'allumage, permet la combustion en 20 millisecondes environ et une élévation de température comprise entre 2500 et 3500°C. Les parties présentant une grande surface et un faible volume, donc les bavures, sont brûlées, y compris dans les zones difficilement accessibles aux outils.

- **les burineurs et meuleuses pneumatiques**, constituant toute une panoplie de machines à main destinées à l'ébavurage des pièces. Ces machines sont généralement bruyantes; elles transmettent des niveaux importants de vibrations aux bras; elles sont lourdes et génèrent de la poussière et des particules métalliques,



© Pierre Bérenger

Finition d'une pièce à l'aide d'une ponceuse à bande équipée d'un système d'aspiration des poussières

- **les perceuses à colonne et fraiseuses** : ces machines effectuent des tâches grossières pour mettre les pièces au gabarit accepté par le centre d'usinage qu'elles rejoindront ultérieurement,,
- **les grenailleuses ou sableuses**,
- **les étuves, fours de traitements thermiques et bains de trempage** pour améliorer les caractéristiques métallurgiques et mécaniques des pièces,
- **les équipements de radioscopie** aux rayons X implantés dans des pièces isolées de l'extérieur par des parements en plomb,
- **les bacs à eau** pour immerger les pièces, mise sous pression d'air, en vue de détecter les fuites,
- **les cabines équipées de lampes aux ultraviolets** pour visualiser les éventuelles fissures ou criques,
- **les robots de mesure tridimensionnelle** installés dans des locaux climatisés à température constante,
- **les systèmes d'aide à la manutention** tels que des bras manipulateurs auto-équilibrants, des convoyeurs pour translater les pièces, des chariots élévateurs ou gerbeurs pour déplacer les bacs ou paniers de pièces...

### 4.6.3 Risques de prévention

#### 4.6.3.1 Risques communs

Le parachèvement\* se déroule dans un environnement de travail difficile ; il comprend de nombreuses opérations de manipulation et manutention de pièces. Les principaux risques rencontrés sont :

- liés à la manutention et à la manipulation (troubles lombaires et musculo-squelettiques, blessures aux mains, aux pieds...),
- dus au bruit, aux vibrations et aux gestes répétitifs,
- générés par la projection de particules dans les yeux,
- dus aux poussières métalliques ou contenant de la silice cristalline (yeux et voies respiratoires),
- mécaniques,
- dus aux lubrifiants d'usinage (risque d'allergies cutanées ou respiratoires).

La **manutention** et la **manipulation** des pièces n'ajoutent pas de valeur. Par contre, elles génèrent des coûts directs (équipements, main d'œuvre) et indirects (arrêts de travail, mise au rebut de pièces détériorées).

La prévention des risques liés à ces activités doit d'abord chercher à les supprimer puis à les réduire en nombre et en pénibilité. Cette action est également une source importante de réductions des coûts. La phase suivante doit consister à identifier les équipements nécessaires pour :

- assister les salariés dans leurs opérations,
- aménager les postes pour que le travail soit effectué « dos droit, mains à hauteur des hanches ».

Une analyse minutieuse des postes de travail permet d'estimer les risques (pénibilité, posture, fréquence...). Ce travail oriente le choix des opérations à traiter prioritairement, ainsi que celui des équipements de travail. En plus des équipements déjà cités au paragraphe précédent, il est bon de mentionner les plateaux de transfert pour éviter les reprises entre les différentes opérations, les tables pour déposer les pièces (faible coût, forte amélioration en terme de charges physiques), les tables à hauteur variable, les potences de manutention aux postes de travail...

Le **niveau sonore** mesuré dans les ateliers de parachèvement\* est particulièrement élevé. Il provient des chocs entre les pièces (souvent creuses et résonnantes), de l'usinage des pièces, des machines (y compris les compresseurs d'air et groupes hydrauliques), des soufflettes qui ne devraient pas être utilisées à outrance.

La prévention du risque de surdité doit d'abord rechercher et estimer les sources de bruit. Par ordre décroissant des priorités et pour chaque source de bruit, il convient ensuite de chercher à éliminer la source, à réduire ses émissions, à la confiner avant la propagation des ondes sonores vers le poste de travail puis vers l'ensemble des postes de travail et enfin à protéger les salariés individuellement. Par ailleurs, un suivi médical régulier doit être mis en place.

Parmi les solutions mises en œuvre, on peut citer :

- pour tout nouvel équipement, l'intégration, dès la conception, de mesures techniques pour réduire le niveau sonore autant que faire se peut,
- l'utilisation de compresseurs insonorisés et implantés à l'extérieur des ateliers de production,
- l'aspiration ou le lavage des pièces, ce qui a pour double avantage de réduire la fréquence d'utilisation des soufflettes et la dispersion des particules solides,
- l'utilisation de convoyeurs à bandes caoutchouc plutôt qu'à rouleaux métalliques,
- l'utilisation d'outils à mains électriques,
- l'utilisation d'outils à mains pneumatiques dont l'échappement d'air est insonorisé,
- l'encoffrement des machines bruyantes,
- le traitement acoustique des parois de l'atelier et la séparation des postes de travail à l'aide de cloisons absorbant les ondes sonores,
- la mise à la disposition des salariés d'un large éventail de protections auditives individuelles. Il est bon de rappeler que le confort est un critère de choix au moins aussi important que la performance théorique de ces protections individuelles.

Les **troubles musculosquelettiques** dans les ateliers de parachèvement\* proviennent essentiellement de l'exécution de mouvements répétitifs générant des angulations importantes au niveau

des poignets et des efforts (efforts de pincement en particulier). Le travail en l'air (sans appui pour la pièce ou les bras) induit des contraintes importantes au niveau des bras et des épaules. Les outils à mains pneumatiques ou à chocs transmettent également des vibrations nocives aux bras.

La prévention de ces risques nécessite de travailler sur la suppression ou la réduction du nombre d'opérations manuelles. Dans un deuxième temps, une analyse ergonomique détaillée des postes de travail est nécessaire. Elle doit porter sur l'aménagement des postes de travail en fonction de la morphologie et de l'activité de chacun des opérateurs. Elle doit permettre également de choisir les équipements de travail (avec priorité aux outils les moins vibrants<sup>1</sup>) et de déterminer l'organisation générale de l'atelier de parachèvement\*.

Nombre d'opérations de parachèvement\* proviennent directement de la conception des pièces et des choix technologiques retenus pour la fabrication. La suppression de certaines opérations de parachèvement\* ne peut donc être envisagée que si cette dimension est intégrée très en amont. Par ailleurs, le bon état des moules (appartenant généralement au client) permet de réduire notablement la pénibilité des opérations de parachèvement\*, par la diminution du nombre et de la taille des bavures au niveau des plans de joint.

L'analyse ergonomique doit être confiée à des personnes compétentes. C'est une démarche efficace à long terme qui peut être préparée en s'appuyant sur les documents ED 860 et ED 865 (voir encadré 10).

La **projection de particules** dans les yeux est une source fréquente d'accidents du travail qui peut conduire à une invalidité permanente.

La prévention de ce risque doit conduire à analyser l'origine de ces particules et à identifier leur mode de mise en mouvement. Ensuite, il convient de chercher à les supprimer et à défaut de les éliminer par voie humide ou par aspiration (proscrire la soufflette). Des écrans seront installés et des lunettes de protection portées par les salariés et toute personne se rendant dans les ateliers (visiteurs, notamment).

<sup>1</sup> Le niveau vibratoire émis par les meuleuses et surtout les burineurs conventionnels est très élevé. Il conviendra de choisir des meuleuses équipées d'un équilibreur automatique de balourd et des burineurs suspendus.

Les moyens décrits auparavant pour réduire d'autres risques peuvent également contribuer à la réduction des blessures aux yeux. Il s'agit, par exemple, des solutions visant à réduire la taille et le nombre de bavures, à diminuer la quantité de matière à retirer par perçage ou fraisage. Le choix des outils de coupe en fonction des alliages usinés peut influencer sur la taille des copeaux et sur leur vitesse d'éjection. L'éloignement des particules à l'aide d'un liquide (lavage, lubrifiant de coupe) est généralement plus performant que les dispositifs de captage et d'aspiration dont la mise au point est délicate. Par ailleurs, la mise en place d'écrans pleins permet de limiter les projections de liquide et, indirectement, les projections de particules.

A noter que les lubrifiants sont susceptibles de générer des **allergies cutanées ou respiratoires** qui peuvent être reconnues comme maladies professionnelles au titre des tableaux n°36 et n°36 bis. En particulier, ils finissent par concentrer des éléments métalliques, organiques et bactériologiques. Il est indispensable d'organiser un suivi chimique et bactériologique de ces fluides et, si nécessaire, de les régénérer ou de les renouveler.

La présence de **poussières** dans les ateliers de parachèvement\* est un paramètre quasi permanent. Les conséquences sur la santé des salariés peuvent être dramatiques (voir encadré 7). Le travail par voie humide permet de réduire le niveau d'empoussièrement. En cas de travail à sec, le captage au plus près des points d'émission est indispensable.

Par ailleurs, des moyens de prévention doivent également être prévus pour les salariés chargés de la maintenance des installations, y compris ceux des sous-traitants, par exemple, lors des interventions sur les dispositifs filtrants.

Le **risque mécanique** est lié à l'utilisation de machines : presses, scies à rubans, fraiseuses notamment. La prévention de ce risque est traitée dans différents documents (voir ED 6321, ED 6289) et est basée sur deux grands principes :

- l'achat de machines sûres et conformes aux textes « conception » en adéquation avec le travail à réaliser,
- le maintien en état de conformité des machines tout au long de leur vie, y compris en cas de modification.

La maintenance préventive est un des moyens pour atteindre cet objectif.

#### 4.6.3.2 Risques lors des opérations de grenaillage

Le grenaillage génère des risques :

- toxicologiques à cause de certaines poussières,
- d'incendies ou d'explosions dus à des poussières combustibles (aluminium),
- de surdité due au bruit,
- de blessures dues aux projections d'abrasif,
- de chutes dues de la présence de grenaille sur le sol.

Pour le grenaillage, il faut privilégier l'utilisation d'enceintes fermées et étanches avec l'opérateur placé à l'extérieur. Lorsque la dimension des pièces impose de travailler au jet libre, il faut effectuer l'opération dans une cabine. Les procédés par voie humide sont à privilégier.

Les opérations de grenaillage au jet sont réglementées par le décret 69-558 du ministère du travail. Celui-ci précise en particulier, lorsque le travail est effectué en cabine ou à l'air libre à sec, que l'abrasif utilisé ne doit pas contenir plus de 5 % en masse de silice cristalline.

Les salariés doivent être équipés de vêtements de protection et d'une cagoule à adduction d'air alimentée avec un débit d'air d'au moins 165 l/min.

Pour le travail en cabine, la ventilation doit permettre (voir ED 768) :

- d'éliminer les poussières au fur et à mesure de leur production,
- d'assurer une visibilité suffisante,
- d'assainir rapidement l'atmosphère à la fin de la projection (pour être correctement protégé l'opérateur ne doit pas enlever sa cagoule immédiatement).

L'air doit être filtré avant rejet à l'extérieur.

Pour prévenir les risques d'incendies et d'explosions, il faut empêcher l'accumulation et la remise en suspension des poussières inflammables. Pour cela, il est nécessaire de procéder à une surveillance et à un nettoyage régulier des différentes parties de l'installation. En présence d'eau, l'aluminium peut générer de l'hydrogène; il faut veiller à ce que celui-ci puisse s'évacuer et ne pas s'accumuler.

Les préconisations de sécurité applicables aux équipements de grenaillage utilisés en fonderie font l'objet de la norme NF EN 1248.

#### 4.6.3.3 Risques liés à la radioscopie

Les rayons X utilisés pour la radioscopie de pièces peuvent provoquer des brûlures et induire des mutations génétiques. Contrairement aux sources radioactives, les générateurs de rayons X produisent un rayonnement qui cesse dès que l'alimentation électrique est coupée.

Dans tous les cas d'utilisation d'un émetteur de rayonnement ionisant, on appliquera les règles spécifiques de radioprotection et notamment :

- déterminer les zones contrôlées et surveillées autour de la source; dans la mesure où cela est possible, la zone contrôlée sera close par des cloisons et portes permettant d'arrêter tout rayonnement,
- prendre des mesures techniques ou organisationnelles de façon à ce que le générateur de rayon X ne puisse être mis en marche lorsqu'une personne se trouve dans la zone contrôlée,
- veiller à ce que les contrôles périodiques prévus par la réglementation soient bien effectués,
- signaler les accès par un panneau portant le pictogramme réglementaire,
- déterminer la durée d'exposition maximale acceptable si nécessaire,
- faire porter un dosimètre si nécessaire,
- nommer la personne compétente et lui faire suivre la formation obligatoire appropriée,
- donner aux utilisateurs les instructions nécessaires.

Pour la réglementation, voir ED 932.

#### 4.6.3.4 Risques liés aux ultraviolets

Les lampes émettant des ultraviolets utilisées pour révéler des défauts de pièces peuvent présenter des risques pour la santé. Les lampes utilisées sont en général de type « lampe à lumière noire ». Elles n'émettent que des UVA qui entraînent essentiellement des risques pour les yeux. En particulier, une exposition sur le long terme à leur rayonnement direct peut entraîner des cataractes. Certaines personnes peuvent présenter une hypersensibilité cutanée au rayonnement ultraviolet qui peut



Pièces suspendues pour un traitement par grenaillage

également être induite par l'utilisation de certains médicaments; le médecin du travail peut apporter des conseils dans le domaine.

Le risque associé à l'utilisation de ces lampes dépend essentiellement :

- des caractéristiques du rayonnement émis (se renseigner auprès du fournisseur),
- de la fréquence et durée des expositions,
- de la distance entre la lampe et l'opérateur,
- des caractéristiques des surfaces réfléchissantes.

Les principales mesures de prévention consistent à :

- capoter au maximum la zone d'utilisation de la lampe pour éviter la diffusion du rayonnement hors de la zone d'utilisation et une incidence directe du rayonnement sur les yeux de l'opérateur,
- porter des lunettes de protection, des vêtements à manches longues et des gants.

Pour mieux évaluer les risques liés à l'utilisation de lampes à rayons ultraviolets, voir ND 2074 ([www.hst.fr](http://www.hst.fr)).

# 1 // Annexes

## Annexe 1

### Les équipements de protection individuelle en présence d'aluminium liquide

Deux types de tenues adaptées au travail habituellement effectué en présence d'aluminium liquide dans les fonderies peuvent être proposés. Ces tenues sont conçues pour protéger contre les risques de projections d'aluminium liquide, d'inflammabilité et de contacts avec des surfaces chaudes. Tous les équipements de protection individuelle qui les composent doivent porter le marquage CE et être accompagnés d'une notice explicative précisant leurs performances et leurs limites de protection.

L'analyse du risque, poste par poste, doit permettre de déterminer les protections individuelles appropriées. À l'issue de cette analyse, un choix est fait parmi les composants des tenues types ci-dessous.

#### La tenue de type 1

Cette tenue de base est constituée à partir d'un ensemble d'équipements de protection individuelle devant être portés durant les différentes phases de transformation de l'aluminium liquide.

Équipements de protection	Exigences de performances
lunettes de protection à branches avec coquilles latérales	conformité à la NF EN 166 de classe optique 1
bouchons d'oreilles prémodelés, bouchons d'oreilles façonnés par l'utilisateur ou bouchons d'oreilles sur mesure	conformité à la NF EN 352-2
casque de protection pour l'industrie	conformité à la NF EN 397 et satisfaction de l'exigence optionnelle relative à la projection de métal en fusion
gants de protection	conformité à la NF EN 407 et à la NF EN 388 avec des niveaux de performances en fonction des risques thermiques et mécaniques identifiés
veste et pantalon ou combinaison de protection	conformité à la NF EN ISO 11612 - niveau A D1
bottes de sécurité ou chaussures de sécurité, en cuir	conformité à la NF EN ISO 20349 et à la NF EN ISO 20349-1 avec une tige résistante aux petites projections de métal en fusion

## La tenue de type 2

Elle se compose d'équipements de protection conçus pour être portés au cours d'activités où le risque d'exposition aux projections de métal en fusion et aux flammes est élevé. Cette tenue doit être portée au-dessus de la tenue de type 1 en ce qui concerne les vêtements et en remplacement de celle-ci pour les gants.

Équipements de protection	Exigences de performances
heaume de protection	conformité à la NF ISO 11612 - niveau A D2 conformité de l'écran de protection à la NF EN 166 et à son exigence additionnelle de projection de métaux en fusion et de solides chauds
gants de protection	conformité à la NF EN 407 et à la NF EN 388 avec des niveaux de performances en fonction des risques thermiques et mécaniques identifiés
vêtements de protection au choix : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ un ensemble veste et pantalon,</li> <li>■ un manteau,</li> <li>■ un tablier à manches.</li> </ul>	conformité à la NF EN ISO 11612 - niveau A D2

Chaque poste de travail étant spécifique en terme de risques et de contraintes, il est important, lors du choix des modèles de protecteurs, de procéder à des essais au porter afin d'évaluer le niveau de protection réel en situation de travail mais aussi l'acceptabilité et le confort offerts par les tenues proposées.

Le port d'une tenue de protection adaptée peut revêtir une importance vitale dans certaines phases délicates du processus de transformation de l'aluminium lorsque toutes les autres mesures de prévention ont échoué.

Pour les autres activités non exposées à l'aluminium liquide, il convient également de faire l'analyse du risque et de choisir les équipements de protection individuelle appropriés.

## Annexe 2

### Toxicité de l'aluminium et valeurs limites

L'aluminium est considéré comme peu dangereux pour la santé lorsqu'il se présente sous forme de poussières métalliques et de composés insolubles relativement purs. Toutefois, des cas de fibrose pulmonaire ont été signalés chez des ouvriers exposés à l'aluminium en poudre. D'autres atteintes respiratoires (asthme, hyperréactivité bronchique,...) sont possibles si ce métal est associé à d'autres polluants (cas du soudage, de la fonderie, de l'électrolyse) et il convient d'en tenir compte. Des atteintes neurologiques ont également été observées chez des sujets traités par des sels d'aluminium. Les concentrations sanguines et tissulaires relevées sont, dans ces cas, nettement plus élevées que celles pouvant résulter d'une exposition professionnelle et ce risque paraît donc faible.

Les sels solubles de l'aluminium, notamment les chlorures, les fluorures et les sulfates, présentent un caractère irritant nettement plus marqué que l'aluminium métallique ou ses composés insolubles.

Le tableau suivant regroupe les valeurs limites d'exposition professionnelle concernant l'aluminium et certains de ses composés.

Aluminium métal	France VLEP-8h* (mg. m <sup>-3</sup> )	Allemagne MAK* (mg. m <sup>-3</sup> )	USA TLV - TWA* (mg. m <sup>-3</sup> )
Aluminium métal	10	4 (inhalable)	10
Aluminium pulvérulent (poussières alvéolaires)	5	1,5	/
Fumées de soudage d'aluminium	5	/	5 exprimé en Al
Trioxyde d'aluminium (Alumine)	10	4 (inhalable) 6 (alvéolaire)	10 exprimé en Al
Sels solubles de l'aluminium	2	/	2 exprimé en Al
Composés alkylés de l'aluminium (organo-métalliques)	2	/	2 exprimé en Al

\* VLEP-8h = moyenne sur un poste de travail de 8 heures

\* MAK = valeur moyenne pondérée sur une journée de travail

\* TLV-TWA = moyenne pour 8 h par jour et 40 h par semaine

## Annexe 3

## Principales maladies professionnelles possibles en fonderie

Tableau	Pathologie	Principaux travaux concernés
16	Affections cutanées ou affections des muqueuses provoquées par les goudrons de houille, les huiles de houille	Travaux de moulage et de noyautage, de coulée et de décochage
25	Affections professionnelles consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline (quartz, cristobalite, tridymite), des silicates cristallins (kaolin, talc), du graphite ou de la houille.	Travaux de moulage et de noyautage, de décochage, d'ébarbage et de dessablage
30	Affections professionnelles consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante	Travaux d'entretien ou de maintenance sur des équipements contenant de l'amiante
30 bis	Cancer broncho-pulmonaire provoqué par l'inhalation de poussières d'amiante	Travaux d'entretien ou de maintenance sur des équipements contenant de l'amiante
32	Affections professionnelles provoquées par le fluor, l'acide fluorhydrique et ses sels minéraux	Utilisation de flux à base de fluorures
36	Affections provoquées par les huiles et graisses d'origine minérale ou de synthèse	Usinage de pièces
36 bis	Affections cutanées cancéreuses provoquées par les dérivés suivants du pétrole : huiles minérales peu ou non raffinées et huiles minérales régénérées utilisées dans les opérations d'usinage et de traitement des métaux, extraits aromatiques, résidus de craquage, huiles de moteur usagées ainsi que suies de combustion des produits pétroliers	Usinage de pièces
42	Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels	Moulage par presse à injection Travaux de décochage et d'ébarbage
43	Affections provoquées par l'aldéhyde formique et ses polymères	Travaux de moulage et de noyautage

Tableau	Pathologie	Principaux travaux concernés
49	Affections provoquées par les amines aliphatiques, alicycliques ou les éthanolamines	Travaux de moulage et de noyautage
49 bis	Affections respiratoires provoquées par les amines aliphatiques, les éthanolamines ou l'isophoronediamine	Travaux de moulage et de noyautage
51	Maladies professionnelles provoquées par les résines époxydiques et leurs constituants	Travaux de moulage et de noyautage
57	Affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail	Travaux de finition des pièces et des noyaux
62	Affections professionnelles provoquées par les isocyanates organiques	Travaux de moulage et de noyautage
64	Intoxication professionnelle par l'oxyde de carbone	Travaux exposant aux émanations d'oxyde de carbone provenant de fours
65	Lésions eczématiformes de mécanisme allergique	Travaux de moulage et de noyautage
69	Affections provoquées par les vibrations et chocs transmis par certaines machines-outils, outils et objets et par les chocs itératifs du talon de la main sur des éléments fixes	Travaux de décochage et d'ébarbage
71	Affections oculaires dues au rayonnement thermique	Travaux près du métal liquide
74	Affections professionnelles provoquées par le furfural et l'alcool furfurylique	Travaux de moulage et de noyautage
82	Affections provoquées par le méthacrylate de méthyle	Travaux de moulage et de noyautage
84	Affections engendrées par les solvants organiques liquides à usage professionnel	Travaux de moulage et de noyautage
97	Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par des vibrations de basses et moyennes fréquences transmises au corps entier	Conduite d'engins de manutention
98	Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par la manutention manuelle de charges lourdes	Manutention de pièces

## Annexe 4

### Glossaire

---

**Alliage-mère** : alliage contenant un ou plusieurs éléments d'addition à forte teneur, utilisé pour la mise au titre des alliages de fonderie.

**Appareux** : tout élément (chaîne, élingue, cé, etc.) adaptable sur un appareil de manutention et permettant la manipulation des produits.

**Brassage** : opération consistant à remuer le métal liquide pour homogénéiser sa composition ou sa température.

**Cancérogène** : la classification européenne distingue :

- Cancérogène de catégorie 1A : substance avérée cancérogène pour l'être humain.
- Cancérogène de catégorie 1B : substance présumée cancérogène pour l'être humain.
- Cancérogène de catégorie 2 : substance suspectée d'être cancérogène pour l'être humain.

**Charge** : ensemble des constituants qui sont introduits dans un four.

**Châssis** : structure servant de support aux moules en sable.

**Corindon** : forme cristalline d'oxyde d'aluminium particulièrement dure se développant sur les réfractaires des fours et susceptible d'obstruer les goulottes.

**Coulure** : métal solidifié involontairement.

**Crasses** : sous-produits constitués d'impuretés du métal agglomérées en surface du bain par l'action des flux.

**Creuset** : récipient permettant d'élaborer et de contenir des alliages liquides.

**Décrassage** : opération consistant à enlever les crasses collées aux parois des fours.

**Dégazage** : opération consistant à éliminer les gaz dissous dans l'alliage liquide.

**DIUO** : Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage.

**Écrémage** : opération consistant à retirer du four les crasses surnageant sur le métal liquide.

**Éjecteur** : dispositif mécanique servant à extraire la pièce d'un moule métallique.

**Élaboration** : ensemble des opérations effectuées sur le métal liquide.

**Flux** : mélange de sels de traitement, généralement pulvérulent, ajouté au métal liquide.

**Goulotte** : chenal d'amenée du métal liquide.

**Gunitage** : réparation à chaud des réfractaires par projection de matériaux à la lance.

**Lingot** : produit solide empilable de formes diverses destiné à être refondu.

**Louche** : outil à long manche et à grand cuilleron hémisphérique.

**Masselotte** : masse de métal coulée en excès afin de compenser le retrait de la pièce durant sa solidification.

---

**Mode opératoire** : description des actes physiques à effectuer pour réaliser une opération sur ou à l'aide d'une machine.

**Noyau** : pièce placée au centre d'un moule afin d'y préserver un creux au moment de la coulée.

**Parachèvement** : ensemble des opérations permettant de finir les pièces brutes de fonderie.

**Pied de bain** : métal liquide laissé dans un four à la fin d'un transvasement ou d'une coulée.

**Piquer** : détacher les bourrelets de crasses des parois du four.

**Poche** : récipient de transport de métal liquide avec ou sans couvercle.

**Poteyage** : dépôt sur des parois métalliques d'un film réfractaire pour obtenir un écran protecteur.

**Poussières alvéolaires** : poussières les plus fines capables d'atteindre les alvéoles pulmonaires.

**Préparation des charges** : opération consistant à sélectionner, peser et regrouper tous les constituants de la charge.

**Quenouille** : composant céramique, généralement conique, constituant un bouchon amovible étanche au passage du métal liquide.

**Racle** : accessoire métallique à très long manche pour le décrassage ou le brassage du métal liquide.

**Réfractaire** : éléments en briques ou en béton constituant l'intérieur du four et pouvant être en contact avec le métal liquide.

**Ringard** : outil métallique destiné au nettoyage du four.

**Sensibilisation** : développement d'une allergie.

**Thermocouple de régulation** : sonde thermique implantée dans un moule par exemple. La température mesurée est transmise à l'automate qui pilote les circuits de refroidissement.

**VLEP-CT** : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle atmosphérique destinée à protéger les salariés des effets immédiats ou à court terme, mesurée ou estimée sur une durée de 15 minutes.

**VLEP-8h** : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle atmosphérique destinée à protéger les salariés des effets à terme, mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

## Annexe 5

### Bibliographie

#### Documents INRS

---

De nombreuses publications de l'INRS sont citées dans cet ouvrage. Elles sont accessibles en texte intégral sur le site internet de l'INRS : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr).

La liste complète des publications écrites, audiovisuelles et multimédia est sur le site de l'INRS.

#### Normes

---

- NF EN 166 Protection individuelle de l'œil. Spécifications, 2002
- NF EN ISO 20345 Équipement de protection individuelle - Chaussures de sécurité, 2012
- NF EN ISO 20349 Équipement de protection individuelle - Chaussures de protection contre les risques thermiques et les projections de métal fondu comme rencontrés dans les fonderies et lors d'opérations de soudage - Exigences et méthode d'essai, 2011
- NF EN ISO 20349-1 Équipement de protection individuelle - Chaussures de protection contre les risques dans les fonderies et lors d'opérations de soudage - Partie 1 : exigences et méthode d'essai pour la protection contre les risques dans les fonderies, 2017
- NF EN 352-2 Protecteurs individuels contre le bruit - Exigences de sécurité et essais - Partie 2 : bouchons d'oreilles, 2003
- NF EN 397 Casques de protection pour l'industrie, 2013
- NF EN 388 Gants de protection contre les risques mécaniques, 2017
- NF EN 407 Gants de protection contre les risques thermiques (chaleur et/ou feu), 2004
- NF EN ISO 11612 Vêtements de protection - Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes - Exigences de performance minimales, 2016
- NF EN 710 + A1 Prescriptions de sécurité applicables aux machines et chantiers de moulage et de noyautage en fonderie et à leurs équipements annexes, 2010
- NF EN 746-1 + A1 Équipements thermiques industriels - Partie 1 : prescriptions générales de sécurité pour les équipements thermiques industriels, 2009
- NF EN 746-2 Équipements thermiques industriels - Partie 2 : prescriptions de sécurité concernant la combustion et la manutention des combustibles, 2010

- 
- NF EN 869 + A1 Prescriptions de sécurité pour les unités à mouler les métaux sous haute pression, 2009
  - NF EN 1248 + A1 Machines de fonderie - Prescriptions de sécurité pour équipements de grenailage, 2009
  - NF EN 1265 + A1 Code d'essai acoustique pour machines et équipements de fonderie, 2009
  - NF EN 1753 Magnésium et alliages de magnésium - Lingots et pièces moulées en alliages de magnésium, 2009
  - NF EN ISO 7933 Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible, 2005
  - NF EN ISO 11690-1 Acoustique - Pratique recommandée pour la conception de lieux de travail à bruit réduit contenant des machines - Partie 1 : stratégies de réduction du bruit, 1997
  - NF EN ISO 11690-2 Acoustique - Pratique recommandée pour la conception de lieux de travail à bruit réduit contenant des machines - Partie 2 : moyens de réduction du bruit, 1997
  - NF X 08-100 Couleurs - Tuyauteries rigides - Identification des fluides par couleurs conventionnelles, 1986
  - NF EN ISO 12100 Sécurité des machines - Principes généraux de conception - Appréciation du risque et réduction du risque, 2010
  - NF EN ISO 13857 Sécurité des machines - Distances de sécurité empêchant les membres supérieurs et inférieurs d'atteindre les zones dangereuses, 2008
  - NF EN 349 + A1 Sécurité des machines - Écartements minimaux pour prévenir les risques d'écrasement de parties du corps humain, 2008
  - NF EN ISO 13850 Sécurité des machines - Fonction d'arrêt d'urgence - Principes de conception, 2015
  - NF EN 60204-1 Sécurité des machines - Equipement électrique des machines - Partie 1 : règles générales, 2006
  - NF EN ISO 7730 Ergonomie des ambiances thermiques - Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique, 2006
  - NF C 15-100 Installations électriques à basse tension, 2015
  - NF C 17-100 Protection contre la foudre - Protection des structures - Installations de paratonnerres, 1997
  - NF EN 15011 + A1 Appareils de levage à charge suspendue - Ponts roulants et portiques, 2014

## Normes (suite)

---

- NF EN ISO 14122-4 Sécurité des machines - Moyens d'accès permanents aux machines - Partie 4 : échelles fixes, 2017
- NF E 85-012 Éléments d'installations industrielles - Échelles métalliques fixes avec ou sans crinoline - Dispositifs « anti-intrusion » condamnant l'accès aux échelles, 2011
- NF EN ISO 14122-3 Sécurité des machines - Moyens d'accès permanents aux machines - Partie 3 : escaliers, échelles à marches et garde-corps, 2017
- FD H 96-301-1 Chariots de manutention automoteurs - Partie 1 : Règles générales de construction et de sécurité, 2001
- NF EN 1993-6 Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 6 : chemins de roulement, 2007
- NF EN 1090-2+A1 Exécution des structures en acier et des structures en aluminium - Partie 2 : exigences techniques pour les structures en acier, 2011
- FD H 96-301-3 Chariots de manutention automoteurs - Partie 3 : Essais et mesurages, 2001
- NF X 35-103 Ergonomie - Principes d'ergonomie applicables à l'éclairage des lieux de travail, 2013
- NF EN 12464-2 Lumière et éclairage - Éclairage des lieux de travail - Partie 1 : lieux de travail intérieur, 2014

- NF ISO 7745 Fluides difficilement inflammables - Transmissions hydrauliques - Exigences et principes directeurs pour leur utilisation, 2011

*Ces normes peuvent être obtenues en s'adressant à l'Association française de normalisation (Afnor)  
11, avenue Francis-de-Pressensé  
93571 Saint-Denis-la-Plaine cedex  
[www.afnor.org](http://www.afnor.org)*

## Divers

---

- Foudre ; risques et prévention. SP 1076. Carsat Lyon. 2004.



Pour commander les brochures et les affiches de l'INRS,  
adressez-vous au service Prévention de votre Carsat, Cram ou CGSS.

## Services Prévention des Carsat et Cram

### Carsat ALSACE-MOSELLE

(67 Bas-Rhin)  
14, rue Adolphe-Seyboth  
CS 10392  
67010 Strasbourg cedex  
tél. 03 88 14 33 00  
fax 03 88 23 54 13  
prevention.documentation@carsat-am.fr  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(57 Moselle)  
3, place du Roi-George  
BP 31062  
57036 Metz cedex 1  
tél. 03 87 66 86 22  
fax 03 87 55 98 65  
www.carsat-alsacemoselle.fr

(68 Haut-Rhin)  
11, avenue De-Lattre-de-Tassigny  
BP 70488  
68018 Colmar cedex  
tél. 03 69 45 10 12  
fax 03 89 21 62 21  
www.carsat-alsacemoselle.fr

### Carsat AQUITAINE

(24 Dordogne, 33 Gironde,  
40 Landes, 47 Lot-et-Garonne,  
64 Pyrénées-Atlantiques)  
80, avenue de la Jallère  
33053 Bordeaux cedex  
tél. 05 56 11 64 36  
documentation.prevention@  
carsat-aquitaine.fr  
www.carsat-aquitaine.fr

### Carsat AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal,  
43 Haute-Loire,  
63 Puy-de-Dôme)  
Espace Entreprises  
Clermont République  
63036 Clermont-Ferrand cedex 9  
tél. 04 73 42 70 19  
fax 04 73 42 70 15  
offredoc@carsat-auvergne.fr  
www.carsat-auvergne.fr

### Carsat BOURGOGNE - FRANCHE-COMTÉ

(21 Côte-d'Or, 25 Doubs,  
39 Jura, 58 Nièvre,  
70 Haute-Saône,  
71 Saône-et-Loire, 89 Yonne,  
90 Territoire de Belfort)  
46, rue Elsa-Triole  
21044 Dijon cedex  
tél. 03 80 33 13 92  
fax 03 80 33 19 62  
documentation.prevention@carsat-bfc.fr  
www.carsat-bfc.fr

### Carsat BRETAGNE

(22 Côtes-d'Armor, 29 Finistère,  
35 Ille-et-Vilaine, 56 Morbihan)  
236, rue de Châteaugiron  
35030 Rennes cedex 09  
tél. 02 99 26 74 63  
fax 02 99 26 70 48  
drp.cdi@carsat-bretagne.fr  
www.carsat-bretagne.fr

### Carsat CENTRE - VAL DE LOIRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,  
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)  
36, rue Xaintrailles  
CS44406  
45044 Orléans cedex 1  
tél. 02 38 79 70 21  
prev@carsat-centre.fr  
www.carsat-cvl.fr

### Carsat CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,  
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,  
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)  
37, avenue du Président-René-Coty  
87048 Limoges cedex  
tél. 05 55 45 39 04  
fax 05 55 45 71 45  
cirp@carsat-centreouest.fr  
www.carsat-centreouest.fr

### Cram ÎLE-DE-FRANCE

(75 Paris, 77 Seine-et-Marne,  
78 Yvelines, 91 Essonne,  
92 Hauts-de-Seine, 93 Seine-Saint-Denis,  
94 Val-de-Marne, 95 Val-d'Oise)  
17-19, place de l'Argonne  
75019 Paris  
tél. 01 40 05 32 64  
fax 01 40 05 38 84  
demande.de.doc.inrs@cramif.cnamts.fr  
www.cramif.fr

### Carsat LANGUEDOC-ROUSSILLON

(11 Aude, 30 Gard, 34 Hérault,  
48 Lozère, 66 Pyrénées-Orientales)  
29, cours Gambetta  
34068 Montpellier cedex 2  
tél. 04 67 12 95 55  
fax 04 67 12 95 56  
prevdoc@carsat-lr.fr  
www.carsat-lr.fr

### Carsat MIDI-PYRÉNÉES

(09 Ariège, 12 Aveyron, 31 Haute-Garonne,  
32 Gers, 46 Lot, 65 Hautes-Pyrénées,  
81 Tarn, 82 Tarn-et-Garonne)  
2, rue Georges-Vivent  
31065 Toulouse cedex 9  
tél. 36 79  
fax 05 62 14 88 24  
doc.prev@carsat-mp.fr  
www.carsat-mp.fr

### Carsat NORD-EST

(08 Ardennes, 10 Aube, 51 Marne,  
52 Haute-Marne, 54 Meurthe-et-Moselle,  
55 Meuse, 88 Vosges)  
81 à 85, rue de Metz  
54073 Nancy cedex  
tél. 03 83 34 49 02  
fax 03 83 34 48 70  
documentation.prevention@carsat-nordest.fr  
www.carsat-nordest.fr

### Carsat NORD-PICARDIE

(02 Aisne, 59 Nord, 60 Oise,  
62 Pas-de-Calais, 80 Somme)  
11, allée Vauban  
59662 Villeneuve-d'Ascq cedex  
tél. 03 20 05 60 28  
fax 03 20 05 79 30  
bedprevention@carsat-nordpicardie.fr  
www.carsat-nordpicardie.fr

### Carsat NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,  
61 Orne, 76 Seine-Maritime)  
Avenue du Grand-Cours  
76028 Rouen cedex  
tél. 02 35 03 58 22  
fax 02 35 03 60 76  
prevention@carsat-normandie.fr  
www.carsat-normandie.fr

### Carsat PAYS DE LA LOIRE

(44 Loire-Atlantique, 49 Maine-et-Loire,  
53 Mayenne, 72 Sarthe, 85 Vendée)  
2, place de Bretagne  
44932 Nantes cedex 9  
tél. 02 51 72 84 08  
fax 02 51 82 31 62  
documentation.rp@carsat-pl.fr  
www.carsat-pl.fr

### Carsat RHÔNE-ALPES

(01 Ain, 07 Ardèche, 26 Drôme, 38 Isère,  
42 Loire, 69 Rhône, 73 Savoie,  
74 Haute-Savoie)  
26, rue d'Aubigny  
69436 Lyon cedex 3  
tél. 04 72 91 97 92  
fax 04 72 91 98 55  
preventionrp@carsat-ra.fr  
www.carsat-ra.fr

### Carsat SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,  
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,  
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse-du-Sud,  
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)  
35, rue George  
13386 Marseille cedex 20  
tél. 04 91 85 85 36  
fax 04 91 85 75 66  
documentation.prevention@carsat-sudest.fr  
www.carsat-sudest.fr

## Services Prévention des CGSS

### CGSS GUADELOUPE

Espace Amédée Fengarol, bât. H  
Parc d'activités La Providence, ZAC de Dothémare  
97139 Les Abymes  
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13  
risquesprofessionnels@cgss-guadeloupe.fr  
www.cgss-guadeloupe.fr

### CGSS GUYANE

Direction des risques professionnels  
CS 37015, 97307 Cayenne cedex  
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01  
prevention-rp@cgss-guyane.fr

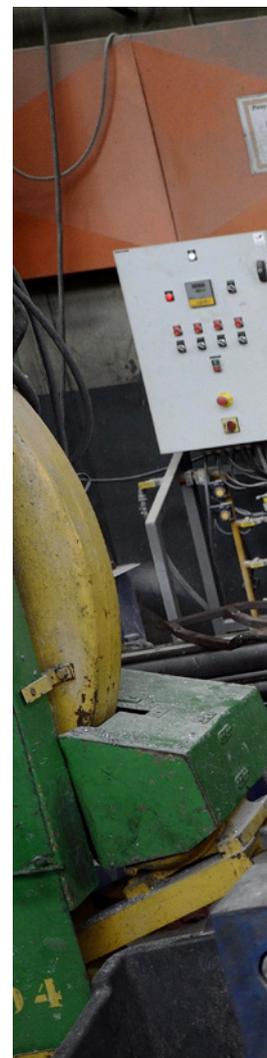
### CGSS LA RÉUNION

4, boulevard Doret, CS 53001  
97741 Saint-Denis cedex 9  
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01  
prevention@cgss.re  
www.cgss-reunion.fr

### CGSS MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes,  
97210 Le Lamentin cedex 2  
tél. 05 96 66 51 31 et 05 96 66 76 19 – fax 05 96 51 81 54  
documentation.atmp@cgss-martinique.fr  
www.cgss-martinique.fr

La production française de pièces en alliages d'aluminium représente environ 300 000 tonnes par an. La moitié de cette production est destinée à l'industrie automobile. Cette activité occupe plusieurs milliers de personnes qui sont exposées à des risques multiples susceptibles d'entraîner des atteintes graves à leur santé. Cette brochure présente les principaux risques rencontrés dans les fonderies d'aluminium et les mesures de prévention adaptées. L'organisation du document est calquée sur l'enchaînement des opérations.



Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)

**Édition INRS ED 908**

2<sup>e</sup> édition • janvier 2019

► L'INRS est financé par la Sécurité sociale - Assurance maladie / Risques professionnels ◀

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

YouTube

