

→ R. Fayolle, service Prévention, CRAM de Rhône-Alpes ;  
B. Courtois, Département Risques chimiques et biologiques, INRS,

avec la collaboration de R. Rottier, Centre technique des industries mécaniques (CETIM)

# Ateliers de traitement thermique

## Hygiène et sécurité

### HEAT TREATMENT WORKSHOPS

HEALTH AND SAFETY AT WORK

This document is intended to provide specialists with a reminder of the main risks encountered in heat treatment workshops and the appropriate means of prevention. It primarily deals with the specific risks associated with the major technologies used (protective atmosphere furnaces, salt baths and quenching baths), while also reviewing more general risks common to other industries.

● heat treatment  
● thermochemical treatment ● risks  
● preventive measures

Ce document est destiné à fournir à la profession un rappel des principaux risques rencontrés dans les ateliers de traitement thermique, ainsi que des moyens de prévention adaptés. Il aborde surtout les risques spécifiques qui sont associés aux principales technologies utilisées (fours à atmosphère, bains de sels et bains de trempe), en rappelant également les risques plus généraux, communs à d'autres industries.

● traitement thermique ● traitement thermochimique ● risque ● mesure de prévention

Cet article concerne l'ensemble des traitements thermiques et thermochimiques, hormis les problèmes liés à la métallisation à chaud par trempage ou projection. Sont considérés tout d'abord les risques communs à toutes les techniques, puis ceux spécifiques à chaque type d'équipement utilisé par cette industrie.

Après une présentation brève des risques liés à certaines techniques annexes aux traitements thermiques, suivent des considérations d'ordre général, tels le choix des technologies présentant le moins de risque, la conception des locaux ou encore la formation.

## 1. Les techniques

### 1.1. Traitements thermiques

Les techniques de traitements thermiques sont variées. Elles consistent en une succession de chauffages et de refroidissements, dont les cycles et les températures sont contrôlés avec précision.

Les principaux traitements thermiques sont :

■ ■ Le recuit : il se pratique avec un chauffage, un maintien en température et un refroidissement suffisamment lent, pour éviter la formation de constituants de trempe. Il sert à mettre le matériau dans un état proche de l'équilibre thermodynamique.

■ ■ **La trempe** : elle consiste en un chauffage et un maintien à une température appropriée, suivi d'un refroidissement suffisamment rapide pour laisser subsister une structure qui n'existe normalement pas à l'équilibre à la température ambiante. Dans le cas des aciers, le refroidissement rapide provoque la transformation plus ou moins totale de l'austénite en martensite et éventuellement en bainite.

■ ■ **Le revenu** : il ne s'applique qu'aux pièces durcies par trempe et doit être pratiqué aussitôt après la trempe. Il sert à relaxer les contraintes créées par trempe en augmentant la résilience et en diminuant et la limite d'élasticité.

Les températures de traitement des alliages ferreux se situent souvent entre 850 °C et 950 °C (parfois jusqu'à 1 250 °C).

## 1.2. Traitements thermochimiques (fig. 1)

Un traitement thermochimique est un traitement thermique effectué dans un milieu particulier. Ce milieu a pour fonction d'apporter un ou plusieurs éléments chimiques, qui vont enrichir la surface du matériau et diffuser jusqu'à une certaine profondeur. Ce traitement confère à la pièce des propriétés superficielles nouvelles (par exemple : augmentation de la résistance au grippage, à l'usure, à la corrosion et de la tenue en fatigue).

Les principaux traitements thermochimiques sont les suivants :

■ ■ **La cémentation** : traitement thermochimique auquel est soumis un produit ferreux porté à l'état austénitique pour obtenir un enrichissement superficiel en carbone. Les températures de refroidissement peuvent descendre à - 80 °C après arrêt à la température ambiante (traitement de stabilisation de l'austénite par le froid). Les chauffages peuvent être effectués en milieu solide, liquide ou gazeux. La cémentation peut être réalisée :

- dans un bain de sels actifs,
- sous atmosphère contrôlée,
- en caisse à l'aide d'un ciment solide,
- sous vide (basse pression), assistée ou non par plasma.

Après cette phase, les pièces sont durcies par trempe dans un fluide adapté à l'acier.

La cémentation en bains de sels présente les inconvénients liés au retraitement des déchets à base de cyanure et aux risques de pollution. Elle est plutôt réservée au traitement de petites pièces.

Fig. 1. Four de nitruration sous vide à double embase - *Twin-seat vacuum nitriding furnace*



Photo Bodycote Hit

La cémentation gazeuse utilise soit le procédé à l'azote et méthanol, soit le procédé par générateur endothermique. Dans les deux cas, il se forme dans le four une atmosphère composée de monoxyde de carbone et d'hydrogène. L'opération s'effectue à environ 950 °C et dure plusieurs heures. Elle peut être suivie d'une trempe à l'huile pour transformation martensitique.

Les cémentations « basse pression » et « assistée plasma ou ionique » sont utilisées pour le traitement de pièces petites ou moyennes. Elles permettent d'obtenir une bonne qualité de la couche cémentée qui conduit, grâce à l'absence d'oxydation interne, à des caractéristiques de tenue en fatigue supérieures à celles obtenues avec les autres procédés. Il est possible de réaliser par ce procédé des surcarburations (résistance à l'usure).

La cémentation en caisse consiste à chauffer les pièces en contact avec un ciment, généralement à base de charbon de bois broyé et de carbonate de baryum. Il se crée, au contact des pièces, une atmosphère riche en monoxyde de carbone qui

va permettre la cémentation. C'est une technique pratiquement abandonnée, qui conserve cependant un intérêt pour le traitement des pièces de grandes dimensions.

■ ■ **La carbonitruration** : traitement thermique de diffusion de carbone et d'azote, suivi d'un durcissement par trempe.

Elle s'effectue en phase gazeuse vers 890 °C. L'azote est apporté par craquage de l'ammoniac.

L'azote a deux effets : il accélère l'enrichissement en carbone et il modifie les propriétés de la couche enrichie. Il permet une trempe à l'huile chaude (140-180 °C).

■ ■ **La nitruration** : traitement ayant pour but de durcir les matériaux ferreux par la diffusion d'azote à une température inférieure aux points de transformation de l'acier.

Les procédés sont les suivants :

- sous atmosphère,
- bains de sel,
- nitruration ionique ou par plasma,
- basse pression.

Selon les additions d'éléments complémentaires, éventuellement pour des raisons de commodité de mise en œuvre, on parle de nitrocarburation, sulfonituration ou sulfonitrocarburation.

La nitruration classique a lieu à des températures inférieures à 590 °C et dure de 10 à 100 h. Pour des températures comprises entre 590 et 700 °C et pour des durées de 1 à 10 h, on parle de nitrations en phase austénitique. En cas de diffusion simultanée d'azote et de carbone, on parle de nitrocarburation. Un autre élément peut être associé (oxygène, soufre). Il s'agit donc, selon les cas, d'oxynituration, d'oxynitrocarburation ou de sulfonitrocarburation.

La nitruration peut être précédée d'un traitement thermique préalable (durcissement par trempe, durcissement par trempe et revenu, recuit) destiné à assurer les caractéristiques à cœur, ou la stabilité dimensionnelle.

## 2. Risques communs et prévention

### 2.1. Brûlures thermiques par contact

Les brûlures thermiques peuvent se produire par contact avec des surfaces chaudes, les parois de fours, les creusets, des pièces chaudes en cours de manipulation, les crochets et accessoires, les projections de matières.

Il faut adopter pour l'atelier une disposition claire et ordonnée :

- en espaçant les fours,
- en aménageant des allées de circulation et en les maintenant dégagées,
- en utilisant des montages et des accessoires adaptés et en bon état,
- en vérifiant la propreté des sols (traces d'huile, grenailles...).

En complément, les opérateurs porteront des gants conformes aux normes NF EN 407 et NF EN 388 et des vêtements de protection conformes à la norme NF EN 531 [1 à 3] ; il est également possible de se référer aux publications de l'INRS [4, 5].

### 2.2. Rayonnements infrarouge et ultraviolet

Les surfaces portées à température élevée exposent les opérateurs à des rayonnements infrarouges et visibles. La chaleur véhiculée par ces rayonnements peut être difficile à supporter. En outre, des expositions prolongées au rayonnement infrarouge favorisent l'apparition de cataractes.

La protection contre les rayonnements infrarouge se fait au moyen :

- d'écrans fixes, absorbant le rayonnement infrarouge, tout en laissant passer suffisamment de lumière visible pour permettre une bonne vision ;
- de lunettes ou de masques (ceux utilisés pour se protéger des projections par exemple) traités pour absorber le rayonnement infrarouge.

Dans le cas des fours à basse pression réalisant des traitements de nitruration ou de cémentation ionique, les hublots doivent également arrêter les rayonnements ultraviolets émis par les gaz ionisés.

Les équipements de protection des yeux contre les rayonnements infrarouges doivent répondre à la norme NF EN 171 [6].

### 2.3. Champs électromagnétiques

Ce type de risques est principalement lié à l'utilisation du chauffage par induction pour réaliser des trempes superficielles. Les fréquences utilisées sont, en général, comprises entre 0,5 et 500 kHz.

Les effets sur la santé de ces champs dépendent de leur fréquence et de leur intensité et sont de deux types :

- les effets thermiques, en particulier l'échauffement du cristallin qui favorise l'apparition de cataractes ;
- les effets spécifiques ou athermiques, qui ne sont pas dus à l'échauffement des tissus. Si aujourd'hui un consensus semble se faire sur leur existence, des doutes subsistent sur leur nature exacte et leur importance reste à déterminer. Les recherches en cours s'orientent sur le système immunitaire et sur de possibles effets de promotion du développement de tumeurs cancéreuses.

Les champs peuvent avoir des effets particuliers sur les porteurs d'implants passifs métalliques ou d'implants actifs (stimulateurs cardiaques).

La prévention se fait en maintenant l'exposition des salariés en dessous de valeurs limites qui vont dépendre de la fréquence utilisée (cf. [7 à 9]).

Les émissions peuvent se produire en particulier lorsque les installations ne répondent pas aux normes NF EN 60519-1 et NF EN 60519-3 [10, 11]. Certains organismes, agréés par le ministère du Travail pour la vérification des installations électriques, peuvent effectuer des contrôles de valeurs d'exposition.

### 2.4. Risques électriques

Les risques électriques spécifiques aux ateliers de traitements thermiques sont dus plus spécialement aux points suivants :

- dégradation des isolants consécutive aux variations importantes de température subies par le matériel ;
- contact direct possible des résistances nues de certains fours électriques avec des crochets ou accessoires de manutention tenus à la main lors des opérations de chargement ou de déchargement des pièces ;
- alimentation à haute tension de certains fours (traitements ioniques).

#### Principales mesures de prévention

- Maintenir les installations en conformité avec le décret du 14 novembre 1988 et avec les normes NF EN 60519-1, 2 et 3 [10 à 13].
- Effectuer des inspections périodiques du matériel.
- Installer des dispositifs de coupure automatique de l'alimentation électrique lors de l'ouverture des portes de sas sur les fours à résistances apparentes.

### 2.5. Explosion et incendie

Ces risques sont liés à la mise en œuvre de combustibles (gaz manufacturés, propane, butane, fioul...) utilisés pour le chauffage de fours. Les vapeurs des combustibles liquides ou les gaz sont susceptibles de former des mélanges explosifs avec l'air.

- L'explosion peut survenir suite à :
- l'allumage ou l'arrêt des brûleurs (ou en cas de mauvais fonctionnement de ceux-ci),
  - une fuite sur le réseau d'alimentation.

### Principales mesures de prévention

■ Rendre accessible le réseau d'alimentation des différents brûleurs.

■ Installer des dispositifs de sécurité de flamme commandant l'arrêt d'arrivée du gaz, en référence à la norme EN 746 [14, 15].

■ Installer un dispositif de préventilation de la chambre avant étincelage dans le cas du gaz naturel.

■ Installer des vannes de barrage repérées et accessibles.

■ Prévoir des consignes d'atelier concernant les procédures d'allumage et d'extinction des fours.

■ Effectuer des vérifications et maintenances périodiques des circuits du gaz, de façon à minimiser le risque de fuite.

■ Informer le personnel de la conduite à tenir en cas d'incendie ou d'explosion.

## 2.6. Risques liés à la manutention

Ces risques résultent essentiellement des interactions directes homme-produit-moyens de manutention.

Les matériels de manutention doivent être conformes aux dispositions de la réglementation et aux exigences des normes en vigueur, complétées par des exigences de conception spécifiques visant à les adapter aux opérations de traitement thermique. Il est notamment nécessaire de prendre en compte les successions de traitements thermochimiques subis par certains équipements lors de leurs séjours dans les fours. Ceux-ci peuvent entraîner, à la longue, une diminution de leur résistance mécanique ou des déformations potentiellement dommageables pour la sécurité.

Le contrôle et l'entretien des moyens de manutention doivent être effectués régulièrement. Pour les moyens de manutention liés aux structures (ponts et potences), la liste des opérations d'entretien doit être précisée dans la notice du fournisseur [16].

Fig. 2. Four de traitement sous atmosphère - *Protective atmosphere treatment furnace*



Photo CETIM

## 3. Risques spécifiques et prévention

### 3.1. Les fours à atmosphère

#### Généralités (fig. 2)

Ils sont destinés à réaliser des traitements thermiques ou thermochimiques. Les traitements purement thermiques sont réalisés sous air ou sous atmosphère protectrice, alors que les traitements thermochimiques nécessitent l'utilisation de gaz chimiquement actifs.

Les fours à atmosphère peuvent être chauffés par :

- des résistances électriques en contact avec l'atmosphère du four ou isolées de celle-ci,
- des tubes radiants à gaz ou électriques.

Les fours peuvent être de type :

- « batch » ou discontinu (utilisé pour des pièces unitaires et des petites séries),
- intégré ou continu (en général, intégré à un process automatisé).

#### Les gaz d'atmosphère

Ces gaz peuvent être fournis, soit par des générateurs d'atmosphères fonctionnant à partir de gaz combustibles, soit à

partir de gaz ou liquides synthétiques livrés en vrac ou en bouteilles.

#### Les générateurs d'atmosphères

Ce sont des réacteurs qui élaborent le mélange gazeux à délivrer dans le four. On distingue deux types de générateurs d'atmosphères :

#### Les générateurs endothermiques

Un mélange pauvre en air et riche en gaz combustible (méthane, gaz naturel ou propane) est introduit dans une enceinte (dite aussi cornue) portée à environ 1 000 °C et comportant un catalyseur à base de nickel.

La faible proportion d'air, environ 25 % en volume, conduit à la formation de monoxyde de carbone et d'hydrogène avec des traces de dioxyde de carbone, d'eau et d'hydrocarbures imbrûlés.

Ce type de générateur produit un taux important de mélange actif (jusqu'à 40 % d'hydrogène et 20 % de monoxyde de carbone).

L'atmosphère générée, fortement réductrice et légèrement carburante, est utilisée pour le chauffage avant trempe, le recuit, la cémentation ou la carbonituration.

#### Les générateurs exothermiques

Une plus forte proportion d'air dans le mélange (entre 60 et 95 %) permet la combustion du mélange à l'aide d'un brû-

leur sans nécessiter d'enceinte chauffée. Les teneurs en gaz actifs obtenues sont bien moindres (de l'ordre de 10 % pour l'hydrogène et le monoxyde de carbone). Ces gaz sont, en général, utilisés comme atmosphère protectrice lors de traitements thermiques.

### Les atmosphères synthétiques

#### A base d'azote

L'azote est livré en vrac et stocké sous forme cryogénique. En fonction de l'application (protection ou traitement thermo-chimique), lui sont ajoutés des gaz livrés en vrac ou en bouteilles (hydrogène, méthane, propane, ammoniac) ou des liquides injectés directement dans le four (on parle alors d'instillation).

Dans le cas des liquides instillés, l'atmosphère est obtenue par craquage des molécules à plus de 760 °C. Différents liquides peuvent être utilisés :

- le méthanol,
- l'éthanol ou l'isopropanol (pour une utilisation en atmosphère de protection),
- des mélanges méthanol/acétate d'éthyle ou méthanol/éthanol/acétone (pour la cémentation),
- des mélanges méthanol/éthanol/ammoniac, monoéthylamine ou triéthylamine (pour la carbonituration).

#### A base d'ammoniac craqué

L'ammoniac, stocké en bonbonne ou en réservoir sous forme liquide, est envoyé sur un catalyseur pour être décomposé en azote et hydrogène. Le mélange est refroidi avant d'être envoyé dans le four. Il est très riche en hydrogène (75 % en volume). Très réducteur, il est adapté à des utilisations telles que :

- le recuit brillant des aciers,
- le recuit avant galvanisation.

#### Les fours à basse pression (fig. 3)

Les technologies travaillant à pression atmosphérique ne jouent que sur la température et la composition des gaz d'atmosphère. Le développement de fours adaptés aux basses pressions permet de disposer d'un paramètre supplémentaire de contrôle des traitements, les basses pressions permettant d'accélérer certaines réactions thermo-chimiques.

Une décharge électrique dans un gaz, sous une pression de 100 à 1 000 Pa, peut être utilisée pour réaliser, suivant la composition de l'atmosphère, de la nitruration ou de la cémentation ionique.

Les traitements à basse pression permettent de limiter les variations dimensionnelles des pièces et par conséquent, de s'affranchir de tout ou partie des opérations de redressage ou de rectification ultérieures.

Par ailleurs, des gaz peuvent être mis en œuvre pour tremper les pièces, après traitement sous pression contrôlée (entre 10<sup>-3</sup> Pa et des vides grossiers).

On utilise alors de l'azote, de l'argon, de l'hélium, de l'hydrogène ou des mélanges de ces gaz. Les applications sont nombreuses notamment pour les matériaux à hautes performances (outillages, aéronautique, nucléaire...).

Le principal risque lié à l'utilisation de basses pressions est celui d'implosion d'un hublot de surveillance d'un four. Des blessures peuvent être causées par l'aspiration ou la projection d'éclats après rebond à l'intérieur de l'enceinte.

L'utilisation de hublots d'épaisseur suffisante pour résister à la pression et de grilles de protection permet de s'affranchir de ces risques.

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

Les atmosphères de four sont souvent inflammables en raison de l'utilisation d'hydrogène, de monoxyde de carbone, d'ammoniac ou d'hydrocarbures comme le méthane ou le propane. Les risques associés vont dépendre de la composition de l'atmosphère et de la température de fonctionnement du four.

Fig. 3. Atelier de trempe sous vide - *Vacuum quenching workshop*



La composition volumique détermine le caractère inflammable du mélange (norme EN 746-3 [18]). En général, est considéré comme inflammable tout mélange de gaz composé de plus de 5 % en volume d'éléments combustibles (hydrogène, monoxyde de carbone, méthane) pour lequel le méthane n'excède pas 1 %, le reste du mélange n'étant pas inflammable. Tout mélange de gaz composé de plus de 1 % de  $C_nH_m$  ou de plus de 2,5 % d'ammoniac, le reste du mélange étant considéré comme non inflammable, est également considéré comme inflammable.

Au-dessus de la température d'auto-inflammation, en pratique 750 °C, un mélange brûle spontanément au contact de l'air (norme EN 746-3 [18]).

Par conséquent, en cas d'entrée d'air dans le four, si la température est égale ou supérieure à 750 °C, la combustion de celui-ci se fera au fur et à mesure ; il n'y aura alors pas de risque d'explosion. A une température inférieure, un mélange explosif peut se former en quantité importante ; la moindre source d'inflammation entraînera alors une explosion.

Ces risques potentiels se présentent dans les cas suivants :

- mise en route et arrêt des fours ;
- opérations d'enfournement et de défournement des pièces ;
- mises en dépression du four, suite à son refroidissement entraînant la contraction du gaz et pouvant, de ce fait, conduire à l'aspiration d'air provenant de l'extérieur. Le refroidissement du four peut être consécutif à l'arrêt du chauffage, une coupure de courant, une défaillance de l'alimentation en gaz...
- fonctionnement continu d'un four à température inférieure à 750 °C.

#### Mesures de prévention spécifiques au cas des atmosphères réputées non-inflammables

La sécurité d'une enceinte fonctionnant avec un mélange non-inflammable est basée sur le contrôle de la composition du mélange de manière à la maintenir en deçà du (ou des) seuil(s) d'inflammabilité. Le caractère non-inflammable du mélange peut être assuré, soit en utilisant des mélangeurs garantissant une composition non-inflammable, soit en employant un gaz prémélangé.

D'autre part, si l'atmosphère est produite par un générateur exothermique, celui-ci doit être purgé avec un gaz neutre avant l'allumage des brûleurs, le volume du gaz

de purge utilisé doit être d'au moins 5 fois le volume de l'enceinte.

#### Mesures de prévention spécifiques au cas des atmosphères inflammables

##### Cas des fours fonctionnant à moins de 750 °C

Lors du démarrage de l'installation, il faut :

- soit purger l'enceinte avec un gaz inerte ou un mélange appauvri contrôlé de manière à le rendre ininflammable avant l'introduction du mélange, en abaissant la teneur en oxygène à moins de 1 % (l'introduction du mélange doit être asservie à un contrôle de la teneur en oxygène à moins de 1 % en sécurité positive) ;
- soit faire brûler par un moyen d'ignition autocontrôlé le mélange dès son introduction dans le four, de manière à consommer tout l'oxygène de l'enceinte, cette méthode n'étant admise que si le four n'est pas équipé de circulateurs d'atmosphère ou si ceux-ci ne sont pas en fonctionnement ;
- soit créer un niveau de vide suffisant : le niveau de pression absolue ne doit pas dépasser 4 500 Pa.

Lors de la mise à l'arrêt, il faut :

- soit fermer l'alimentation en gaz d'atmosphère et ouvrir celle en gaz inerte, de manière simultanée (cette manœuvre demandant un asservissement par synchronisation) ;
- soit remplacer par réglage le gaz d'atmosphère par un gaz appauvri, un contrôle de composition devant valider son caractère ininflammable ;
- soit s'assurer que la pression dans la chambre de traitement est inférieure à 4 500 Pa, une mise à la pression atmosphérique pouvant alors se faire avec l'air ambiant sans risque d'explosion ;
- soit, s'il y a une source d'inflammation fiable à l'endroit de l'introduction de l'air et à la condition que le four ne soit pas muni de circulateur d'atmosphère, purger l'enceinte par combustion du gaz d'atmosphère, cette combustion devant se poursuivre après l'ouverture des portes, jusqu'à la fermeture des vannes d'alimentation en gaz d'atmosphère. Cette méthode de purge, sans gaz inerte, demande un autocontrôle du moyen d'ignition et un interverrouillage des actionneurs, de manière à ce que la séquence des opérations soit bien effectuée.

##### Cas des fours fonctionnant à plus de 750 °C

Un four fonctionnant avec un mélange inflammable au-dessus de 750 °C devra

être équipé d'un asservissement n'autorisant l'introduction du mélange que si cette température est atteinte. Au cas où le seuil de 750 °C serait franchi à la baisse, l'alimentation en mélange doit être interrompue et le four doit être purgé avec un volume de gaz inerte au moins égal à 5 fois celui de l'enceinte.

#### Mesures générales de prévention pour les équipements, quelle que soit la température de fonctionnement

##### Conception des organes de stockage et de distribution de fluides

■ Les tuyauteries doivent être en métal ou renforcées de métal et présenter des raccords vissés ou à brides.

■ Un robinet d'isolement de chaque four à commande manuelle doit être installé sur les canalisations d'alimentation en gaz d'atmosphère. À ouverture et fermeture rapide (quart de tour par exemple), il indique clairement la position ouverte et fermée. Il doit être facile d'accès et pouvoir être manipulé à main nue, même lorsque le four est en fonctionnement (contrainte thermique).

■ Les vannes multitours, qui en tout état de cause ne doivent être utilisées que pour les réglages, doivent être remplacées par des vannes asservies (norme EN 161 [19]) sur des débitmètres fiables pour les alimentations présentant des risques, notamment les canalisations d'alimentation en gaz d'atmosphère.

■ L'alimentation des fours en gaz d'atmosphère ou en fluides servant à générer le gaz d'atmosphère doit être équipée de dispositifs antiretour.

##### Conception des méthodes de purge

■ Les méthodes de purge au gaz inerte doivent être fiabilisées. Un contrôle permanent permettra de s'assurer que l'on dispose de la quantité de gaz nécessaire pour sécuriser l'installation. En cas de défaut, une alarme sonore et/ou visuelle doit être déclenchée et toute introduction de gaz d'atmosphère impossible.

■ Les défaillances du système d'alimentation en gaz d'atmosphère doivent être prévues : les méthodes de mise à l'arrêt sans gaz inerte, décrites précédemment, ne dispensent pas le constructeur de prévoir, et l'utilisateur de maintenir une réserve de gaz inerte, qui viendra suppléer la défaillance en gaz d'atmosphère.

■ Les débits doivent être contrôlés de manière à vérifier que les inertages se font dans de bonnes conditions et, en cas de valeurs mesurées en dehors des spécifications, une alarme doit être déclenchée.

■ Une attention toute particulière doit être portée aux risques de rétention de poches de gaz à l'intérieur du four, même si une purge est effectuée systématiquement. La différence de densité entre le gaz de purge et les gaz d'atmosphère doit être prise en compte pour le positionnement des entrées et des sorties du gaz de purge. Ceci est d'autant plus important s'il n'y a pas de système de brassage de l'atmosphère. Par exemple, lorsque le gaz d'atmosphère contient de l'hydrogène (gaz ayant la plus faible densité), l'évacuation des gaz de purge (azote par exemple) doit se faire par le haut du four pour éviter toute formation d'une poche d'hydrogène.

■ Il est important de veiller à ce que l'enceinte soit suffisamment ventilée lorsque le four est à l'arrêt. Des consignes, interdisant l'accès, doivent être affichées pour les fours de grandes tailles et, pour les opérations de maintenance, une ventilation forcée, complétée par un contrôle d'atmosphère, devra être prévue suffisamment à l'avance pour permettre des interventions.

■ Les équipements de stockage et d'alimentation en gaz d'atmosphère doivent pouvoir être purgés par un gaz inerte, ou de toute autre façon fiable, permettant d'obtenir une teneur en oxygène inférieure à 1 %.

#### *Entretien des installations*

■ L'étanchéité des canalisations et des vannes doit être régulièrement vérifiée : des microfuites peuvent provoquer des accumulations de gaz d'atmosphère dans l'enceinte ou dans des endroits confinés à l'extérieur lorsque le four est à l'arrêt.

■ Ces fuites peuvent être provoquées par des impuretés ou des corps étrangers, véhiculés par le gaz d'atmosphère, qui se logent dans les sièges des vannes. Des filtres situés en amont des vannes et régulièrement changés permettent de réduire ce risque.

■ Les tuyauteries d'alimentation en gaz d'atmosphère de traitement peuvent être équipées de points de drainage pour évacuer les condensats qui risquent de s'y accumuler. Ces équipements ne devront être ouverts que par du personnel spécialement formé pour les travaux de purge de ces canalisations ; ils se verront

condamnés lors du fonctionnement de l'installation.

■ Les interventions de maintenance à l'intérieur des fours doivent suivre une démarche spécifique :

- avant toute intervention, un mode opératoire doit être établi sous la responsabilité de l'employeur. Il doit comprendre le nom de la personne responsable des consignations et être complété par une « autorisation de pénétrer » attribuée à une ou des personne(s) nommément désignée(s) ;
- le mode opératoire doit comprendre, après analyse des risques spécifiques, les mesures prises pour les prévenir ;
- une personne placée à l'extérieur doit surveiller en permanence les travaux de l'opérateur se situant à l'intérieur du four ;
- l'opérateur doit pouvoir être extrait rapidement en cas de danger ou de malaise, sans que la sécurité des intervenants soit altérée.

Bien entendu, cette démarche concerne non seulement les risques incendie et explosion, mais aussi les autres risques présents dans ces circonstances (cf. § « Risque d'intoxication et d'asphyxie », page suivante).

#### *Traitement de l'atmosphère après passage dans le four*

■ Les brûleurs d'allumage, servant à enflammer les gaz d'atmosphère s'échappant des événements, doivent être équipés de systèmes de contrôle de flamme. En cas de défaillance, le four doit entrer dans une procédure d'arrêt et une alarme doit se déclencher.

■ Les événements munis de brûleurs d'allumage doivent être équipés de systèmes antiretour de flamme et ne doivent pas être interconnectés.

■ Des systèmes d'allumage autocontrôlés doivent équiper chaque porte ou ouverture d'accès du four, de manière à brûler les gaz s'échappant de l'enceinte. Le four ne doit pas fonctionner en cas de défaut du système d'allumage.

#### *Mesures complémentaires pour les générateurs endothermiques*

■ Une surchauffe de la cornue peut détériorer l'appareil et provoquer des fuites. Vérifier, à l'aide d'une sonde de température, que l'appareil se situe dans une plage conforme aux prévisions du constructeur. En cas de défaut, une alarme doit se déclencher et, si le défaut n'a pas été éliminé dans un délai prédéterminé par le constructeur, un arrêt de sécurité et un verrouillage au démarrage de l'appareil doit se produire. Le délai ne doit pas pouvoir être modifié par l'utilisateur.

■ Dans le cas des générateurs d'atmosphères refroidis par eau, effectuer un contrôle du débit d'eau pour prévenir toute surchauffe de l'appareil et donc l'apparition de fuite par détérioration des parois. Ce contrôle doit déclencher une alarme et un arrêt de l'équipement si le débit n'est pas rétabli au bout d'un temps prédéterminé par le constructeur et ne peut être modifié par l'utilisateur.

■ Au cas où un compresseur ou un surpresseur serait utilisé pour générer le gaz d'atmosphère, un arrêt doit se produire si une baisse de pression est détectée, et une alarme doit se déclencher. Un réarmement automatique doit être impossible. Une vanne anti-retour doit être installée entre le compresseur ou le surpresseur et tout réservoir de stockage.

En cas de pression anormalement élevée, une alarme doit se déclencher et une soupape doit évacuer le surplus de gaz vers l'extérieur en zone protégée.

#### ENCADRE N° 1

### GESTION DU RISQUE RÉSIDUEL D'EXPLOSION

◆ Les dispositifs de décharge d'explosion ne doivent pas être considérés comme des équipements de sécurité intrinsèques, et à ce titre, ils ne doivent pas dispenser le constructeur et l'utilisateur de mettre en œuvre les mesures appropriées qui permettent d'éviter les explosions. Si cette configuration est mise en œuvre, son implantation devra être à un endroit sécurisé.

◆ Les solutions de retenue de portes par chaînes en cas d'explosion, que l'on voit parfois, sont encore moins satisfaisantes, car elles admettent que des organes fonctionnels de la machine subissent des contraintes mécaniques fortes en cas de surpression, ce qui est porteur de risques (de fuites par exemple) lors de la remise en service de l'installation.

### Mesures complémentaires dans le cas d'instillation d'alcool (méthanol...)

Au-delà des risques dus au gaz d'atmosphère, ce type de four présente un risque d'incendie lié à l'utilisation d'un alcool auprès d'un équipement porté à haute température. Une fuite sur le circuit d'alcool peut déclencher un incendie. L'utilisation de systèmes d'instillation sous pression d'azote présente des risques importants, en raison de la nécessité d'éliminer les bulles qui se forment dans le liquide avant son injection. Cet équipement est sujet à de fréquents dérèglements, qui nécessitent des interventions que les opérateurs ont tendance à faire pendant le fonctionnement du four. L'utilisation de pompes à la place des alimentations sous pression est préférable.

### Risques d'intoxication et d'asphyxie

Les risques d'intoxication sont dus à des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone, l'ammoniac ou l'hydrogène sulfuré, mais aussi à des liquides volatils, comme le méthanol.

Des informations sur la toxicité et la réglementation liées à leur utilisation sont données dans les fiches toxicologiques sur le monoxyde de carbone, l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène et le méthanol [20 à 23].

Le dioxyde de carbone n'est pas seulement un gaz asphyxiant, il possède une toxicité propre [24] (1).

Les risques d'intoxication se présentent principalement :

- lors des ouvertures de portes de four,
- lors des opérations de maintenance, en raison des teneurs résiduelles possibles ou des risques de fausses manœuvres (ouvertures inopinées de vannes d'alimentation alors que du personnel se trouve à l'intérieur du four),
- en cas de fuite sur les circuits de gaz.

#### Principales mesures de prévention

■ Une ventilation mécanique suffisamment puissante doit être installée, pour évacuer les échappements résiduels vers un endroit sécurisé. Le fonctionnement du four doit être assuré à la bonne marche de la ventilation.

■ L'étanchéité des canalisations et vannes doit être régulièrement contrôlée, y compris pour les atmosphères pauvres. Dans le cas des générateurs exothermiques, l'air de réaction doit être filtré, afin d'éviter que des particules solides ne viennent provoquer des fuites sur les sièges de vannes de commande ou de barrage.

■ L'efficacité de la ventilation doit être

vérifiée, au moins une fois par an, par un organisme agréé [25]. Il est également recommandé à l'utilisateur d'effectuer lui-même un contrôle au moins une fois par mois. Des détecteurs de gaz toxique à poste fixe peuvent également être utilisés, à condition d'être périodiquement étalonnés pour garantir la fiabilité de la mesure.

■ Lors d'interventions dans les fours, une procédure de consignation, conduite sous la responsabilité d'un chargé d'intervention, doit être mise en place [26] et comprendre au minimum : une condamnation mécanique (à clé par exemple) des vannes d'alimentation en position fermée ; un équipement de détection individuel de teneur en CO avec alarme, et un moyen d'extraction rapide des personnels de l'intérieur du four par au moins un surveillant, situé hors du risque et équipé des moyens adaptés. La prévention doit également intégrer des interventions dans des conditions particulières (panne d'électricité, four encore chaud, encombré de pièces ou de matériaux éventuellement détériorés...).

Les risques d'asphyxie résultent du manque d'oxygène et sont présents dans tous les types d'atmosphère [27]. Suivant la nature des gaz présents, ils peuvent se coupler avec un risque d'intoxication ou d'explosion. Ils existent essentiellement lorsqu'il y a nécessité de pénétrer à l'intérieur du four ou lorsque le four est installé dans un local de faibles dimensions.

Pour la prévention de ces risques, on peut se référer au guide sur la ventilation des espaces confinés [28].

Il est également nécessaire de prendre en compte la densité du gaz présent dans le four.

### Cas de l'utilisation de gaz plus légers que l'air (hélium par exemple)

Pour tous les fours, l'ouverture ne doit pouvoir se faire que si l'alimentation en gaz d'atmosphère est coupée.

Les fours de taille importante (capables d'accueillir une personne à l'intérieur) doivent être équipés de trappes de visite situées en partie haute de l'installation, pour permettre une évacuation complète de l'atmosphère dans un endroit sécurisé.

Les fours de taille plus petite doivent être installés dans des locaux suffisamment ventilés pour évacuer vers l'extérieur les émanations résiduelles et, si ce n'est pas le cas, être équipés de détecteurs de teneur en oxygène.

### Cas de l'utilisation de gaz de même densité ou plus lourds que l'air (argon, dioxyde de carbone, azote...)

Les fours de taille importante doivent être équipés de trappes de visite situées en partie basse, avec une ventilation du local adaptée. Si ce n'est pas possible (fours à pots), des procédures intégrant une vérification de la bonne teneur en oxygène seront adoptées et les personnels seront équipés de moyens de remontée rapide assistés depuis l'extérieur du four. L'utilisateur doit également tenir compte de l'environnement du four pour éviter que des émanations (de dioxyde de carbone par exemple), en provenance d'autres fours, ne viennent générer des risques sur une installation qui pourrait être considérée à tort comme maîtrisée.

Les fours de petite taille se verront équipés des mêmes moyens que ceux utilisés dans le cas des gaz plus légers que l'air.

### Risques d'enfermement

Ces risques sont d'autant plus grands qu'un four avec une personne à l'intérieur et des portes refermées est prêt au démarrage, avec toutes les conséquences que cela peut comporter. Des interventions isolées comme, par exemple, celles de personnes appelées à intervenir après un déclenchement d'alarme, peuvent conduire à des situations à risques de ce type. Les fours à basse pression, qui mettent en œuvre un vide dangereux pour l'homme, nécessitent également la prise en compte de ces risques dans leur conception et dans les procédures d'utilisation.

Des enfermements dans les fours de grande taille peuvent être provoqués par une consignation défailante des ouvertures de portes. Les systèmes à ouverture par soulèvement, commandés par vérin, présentent des risques de ce type, du fait de la possibilité de voir se refermer la porte par gravité, notamment en cas de baisse de pression de commande des vérins. Ils sont toutefois fréquemment employés et il est vrai qu'ils présentent des avantages car le maintien en position fermée en l'absence d'énergie permet de maintenir le confinement de l'atmosphère, en cas d'incident.

La prévention peut passer par une conception des portes permettant d'éviter leur fermeture en l'absence d'énergie, telles les conceptions à crémaillère commandée par une vis sans fin.

(1) Cf. dans ce même numéro, la fiche toxicologique FT 238 - Dioxyde de carbone.

Fig. 4. Atelier de bains de sel - Salt bath workshop



Photo Bodycote Hit

Les commandes à vérin pourront être conservées si, par exemple, un dispositif de verrouillage maintient la porte en position ouverte, le déverrouillage ne pouvant être effectué que suite à une action volontaire. Le risque d'enfermement est abordé dans le projet de norme pr EN 746-7 [29].

#### Risques liés à l'utilisation de ciments solides

Dans ce cas, les principaux risques sont liés à l'inhalation de poussières émises lors de la manipulation des ciments, lors des opérations de remplissage ou de déchargement des caisses et lors du tamisage des ciments.

De nombreux produits chimiques utilisés peuvent être à l'origine d'intoxications ; c'est le cas notamment avec les ciments qui contiennent des sels de baryum et, pour certaines cémentations particulières, des éléments métalliques tels que le chrome, le béryllium, le manganèse.

Pour éviter ces risques, il faut effectuer ces opérations en système clos ou aména-

ger le poste de travail de façon à capter les poussières et à les rejeter à l'extérieur du local de travail après épuration éventuelle.

### 3.2. Les bains de sels (fig. 4)

#### Généralités

Les bains de sels sont utilisés à la fois comme bains de trempage et bains de traitement thermochimique (nituration, cémentation et carbonituration). Le milieu liquide de chauffe est constitué par des sels fondus, contenus dans des creusets d'une contenance variant généralement entre 100 et 1 000 kg. La composition des sels est variable suivant la température de traitement envisagée et suivant l'action que le milieu de chauffe doit avoir sur le métal.

Les prescriptions de sécurité particulières aux bains de sel font l'objet de la norme NF EN 746-5 [30].

Ces sels peuvent être :

- neutres : ils sont alors composés de mélanges de chlorures (baryum, sodium, potassium, calcium, etc.) ;

- carburants : ils contiennent presque toujours dans ce cas, un certain pourcentage de cyanure de sodium et de potassium ;
- oxydants : ce sont des mélanges de nitrates et de nitrites de sodium et de potassium.

Les risques principaux sont les suivants :

- réactions dangereuses par mélange de produits incompatibles (par exemple, un mélange de sels carburants et de sels oxydants peut provoquer des réactions violentes et des explosions),
- intoxication,
- brûlures.

#### Risques d'explosion

Pour tous les types de bains, ces risques existent principalement :

- lors de la fusion retardée de la croûte d'un bain solidifié en cours de refusion. L'explosion est alors due à l'augmentation du volume des sels lors de leur fusion ;
- lors de la vaporisation de traces d'humidité présentes sur les pièces ;
- lors de la dilatation de l'air contenu dans des cavités débouchantes de pièces ou dans les tubes d'un montage.

Pour les bains de nitrate, les risques d'explosion existent également :

■ En cas de températures supérieures à 540 °C, les nitrates peuvent se décomposer brutalement en présence du fer des creusets. Ceci peut se produire dans les cas suivants :

- absence ou défaillance du système de régulation,
- surcharge en pièces chaudes,
- surchauffe locale,
- accumulation de « crasses ».

■ En cas d'introduction de composés incompatibles provoquant la décomposition brutale des nitrates. Les nitrates sont des oxydants, ils peuvent réagir violemment avec les composés combustibles ou oxydables tels que : magnésium, cyanure, bois, chiffons, huile, graphite... Les accidents surviennent plus particulièrement dans les cas suivants :

- traitement de pièces non dégraissées,
- traitement de pièces sortant d'un bain de sels cyanurés,
- utilisation d'accessoires (crochets, montages) ayant servi pour des traitements en bain cyanurés et non nettoyés,
- rechargement d'un creuset avec des sels non compatibles (contenant des cyanures),
- traitement de pièces en alliage d'aluminium à plus de 2 % de magnésium.

Les moyens de prévention de ces risques sont les suivants :

■ Lors de l'arrêt d'un four :

- dans le cas des fours à chauffage extérieur, vider une partie du bain pour ramener le niveau de sel dans la zone de chauffage ;
- poser avant solidification du bain un coin ou un cône préchauffé reposant sur le fond du creuset.

■ Au redémarrage :

- le coin peut être enlevé, soit avant remise en service dans le cas des fours à électrodes plongeantes, soit après fusion totale dans le cas des fours à chauffage extérieur au creuset. Il ne faut pas retirer un coin d'un bain qui n'est pas complètement fondu ;
- monter la température du four par paliers,

• laisser les couvercles en place tant que le bain n'est pas fondu.

■ Les pièces doivent être propres et préchauffées avant leur introduction dans un bain pour éliminer toute trace d'humidité.

■ Pour éviter la surchauffe des bains de nitrates :

- installer les dispositifs de contrôle et de régulation de la température. Procéder régulièrement à leur étalonnage,
- prévoir une alarme et une coupure du chauffage à 530 °C,
- utiliser des volumes de bains adaptés à la quantité de pièces à traiter,
- procéder régulièrement à l'élimination des crasses.

■ Pour éviter les mélanges :

- identifier clairement le contenu des différents creusets,
- ne traiter que des pièces propres,
- n'utiliser que des accessoires propres,
- contrôler la teneur en cyanures des bains de nitrates.

En complément, la protection des opérateurs est assurée par de longs gants, des tabliers ignifugés et des écrans de protection du visage ou des lunettes de sécurité (cf. normes [1, 30 à 32]).

### Risques d'intoxication

Les bains de nitrites/nitrates dégagent des oxydes d'azote toxiques en quantités parfois importantes, notamment dans le cas de contamination par des sels de calcium [33].

Les bains de sels cyanurés dégagent également en fonctionnement normal, des vapeurs toxiques contenant de l'acide cyanhydrique [34, 35]. De plus, en cas de contact avec des acides (solutions de décapage...), des dégagements importants d'acide cyanhydrique peuvent se produire. Ils sont susceptibles d'entraîner des intoxications aiguës graves.

Les autres bains de sel contenant des sels de baryum, strontium, calcium, émettent des fumées toxiques dès 800 °C, en quantités d'autant plus importantes que la température est élevée.

Pour prévenir ces risques :

■ Utiliser de préférence des bains de traitement peu toxiques ; il existe des bains où les cyanures sont remplacés par d'autres sels :

- à base de carbonates et de carbure de silicium,
- à base de carbure de calcium et d'halogénures,
- à base de dispersion de particules de carbone dans des carbonates alcalins.

■ Capturer les vapeurs émises par les bains de nitrite-nitrate et de cyanure, ainsi que les vapeurs émises par les bains de sels de baryum, calcium, strontium, pour des températures d'utilisation supérieures à 800 °C [36, 37].

■ Proscrire l'emploi d'acide dans un atelier utilisant des cyanures.

■ Proscrire la présence de produits combustibles autour des bains de nitrites/nitrates.

■ Respecter des règles d'hygiène strictes :

- interdiction de boire, manger, fumer sur les lieux de travail,
- lavage des mains et du visage avant les repas,
- changement des vêtements après le travail,
- les vestiaires doivent permettre la séparation des vêtements de travail et de ville,
- des douches doivent être à la disposition des salariés.

■ Veiller à organiser rigoureusement le stockage et la distribution des produits [38, 39] en :

- stockant les cyanures dans un local séparé fermant à clef ;
- limitant le nombre de personnes responsables du stock et de la distribution des produits dangereux ;
- utilisant des récipients clos correctement étiquetés ;
- séparant les cyanures des produits acides ;
- séparant les nitrates qui sont des produits comburants des produits inflammables ;
- s'appliquant à stocker systématiquement les sels neutres, tels que les chlorures qui sont hygroscopiques, en emballages étanches.

## RISQUES CHIMIQUES ET VALEURS LIMITES

Parmi les risques rencontrés dans les ateliers de traitements thermiques, les risques chimiques sont peut être les plus insidieux. En effet, à côté des intoxications aiguës dues à des produits comme le monoxyde de carbone ou les cyanures, des expositions plus faibles sur de longues périodes peuvent également induire des risques pour la santé (toxicité sur le système nerveux central de certains solvants comme le toluène ou le xylène par exemple).

La prévention des maladies d'origine professionnelle demande que l'exposition des personnes aux polluants présents dans l'air des lieux de travail soit réduite aux niveaux les plus faibles possibles. Dans la pratique, il est utile de définir, pour les concentrations atmosphériques, des niveaux à ne pas dépasser [40].

### LES VALEURS LIMITES

Les valeurs limites sont de deux types :

- ◆ Les valeurs limites d'exposition à court terme (VLE), dont le respect permet d'éviter les effets toxiques immédiats ou à court terme. La VLE est une valeur plafond mesurée sur une durée maximale de 15 minutes.

- ◆ Les valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) destinées à protéger les travailleurs des effets à terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

Les valeurs limites sont des ordres de grandeur définis à partir de l'état des connaissances à un moment donné et des possibilités de mesurage.

Le ministère chargé du Travail recommande des catégories d'actions à envisager en fonction des résultats des prélèvements effectués :

- ◆  $R > VME$  : mise en place d'actions correctives. Nouvel examen de la situation, nouveaux mesurages, jusqu'à obtention de résultats acceptables pour la prévention.

- ◆  $0,7.VME < R < VME$  : la mise en œuvre de dispositions correctives doit être envisagée. Si aucune mesure n'est adoptée, mettre en place un contrôle périodique aux postes les plus exposés. Dans le cas contraire, une seconde visite et des mesurages complémentaires objectiveront l'amélioration obtenue.

- ◆  $0,3.VME < R < 0,7.VME$  : visite détaillée des lieux de plus forte exposition et examen des mesures éventuelles de prévention à prendre. Prévoir un suivi dans le temps suivant les possibilités.

- ◆  $R < 0,3.VME$  : en l'absence de problèmes particuliers (par exemple pénétration cutanée) et d'évolution notable des

conditions de travail, aucune mesure spécifique n'est à prendre si toutes les possibilités raisonnables de prévention sont appliquées.

Il est à noter que les valeurs limites ne concernent que la contamination par voie respiratoire. Certains produits peuvent également pénétrer dans l'organisme par voie cutanée (certains solvants par exemple).

La mise en œuvre de telles actions nécessite d'être capable d'évaluer la concentration des substances auxquelles sont exposés les salariés. Les méthodes de référence sont basées sur des prélèvements près des zones respiratoires des opérateurs à l'aide de pompes portables. Les produits chimiques sont absorbés dans des tubes. Les analyses sont effectuées, après coup, en laboratoire. De telles analyses peuvent être effectuées par les laboratoires des Caisses régionales d'assurance maladie (sur demande du service de prévention) ou par des entreprises privées.

Il existe d'autres moyens, moins lourds, pour évaluer la concentration atmosphérique des substances chimiques :

- des badges qui absorbent les polluants ; ils ont l'avantage de ne pas nécessiter de pompes et sont analysés en laboratoire après exposition,

- des badges colorimétriques ; leur lecture est directe,

- des tubes colorimétriques ; utilisés avec une pompe manuelle, ils permettent d'estimer la concentration d'une substance en un point et à un moment donné,

- des analyseurs électroniques fixes ou portables existent également pour les gaz toxiques les plus courants ; ils donnent en continu la concentration d'un ou plusieurs gaz et avertissent du franchissement de seuils de concentration prédéfinis.

Le *tableau 1* donne les valeurs limites pour les principales substances chimiques que l'on peut trouver dans les ateliers de traitements thermiques.

La prévention des risques chimiques est basée sur les règles suivantes :

- ◆ tout d'abord, choisir les produits qui présentent le plus faible danger ;

- ◆ ensuite, utiliser le produit dans une enceinte isolée ou capter les polluants à la source et assurer une ventilation suffisante des ateliers ;

- ◆ utiliser des protections individuelles pour se protéger des risques résiduels que les mesures de protection collectives n'ont pas permis d'éliminer.

Face au caractère difficilement repérable de certains risques chimiques, l'information et la formation des salariés utilisant les produits chimiques sont tout particulièrement importantes. La mise en place d'une organisation permettant la diffusion de l'information sur les risques liés aux produits et sur les moyens de prévention permet notamment une application durable des mesures de prévention et une meilleure prise en compte des risques liés à l'introduction de nouveaux produits.

Les principales sources d'informations dans le domaine sont :

- ◆ L'étiquetage des produits, qui doit être reproduit lors de reconditionnements.

- ◆ Les fiches de données de sécurité, qui doivent être communiquées par le fournisseur au chef d'entreprise utilisateur.

- ◆ Les « fiches toxicologiques » de l'INRS.

- ◆ Les services prévention des CRAM.

TABLEAU I

### VALEURS LIMITES POUR LES PRINCIPALES SUBSTANCES CHIMIQUES

PRODUITS	VME (ppm)	VME (mg/m <sup>3</sup> )	VLE (ppm)	VLE (mg/m <sup>3</sup> )
Acide cyanhydrique	2	2	10	10
Ammoniac	25	18	50	36
Cyanures (en CN)	-	5	-	-
Méthanol	200	260	1000	1300
Monoxyde de carbone	50	55	-	-
Monoxyde d'azote	25	30	-	-
Dioxyde d'azote	-	-	3	6
Sulfure d'hydrogène	5	7	10	14

### 3.3. Les bains de tremp

#### Généralités

La plupart des traitements thermiques ou thermo-chimiques nécessitent en fin de traitement l'utilisation de bains de tremp. Selon la nuance du matériau à traiter et la finalité demandée, les fluides utilisés sont :

- l'eau éventuellement additivée,
- des solutions de polymères dans l'eau,
- des huiles à différentes températures,
- des sels,
- le plomb.

Les bacs (contenant les bains de tremp) peuvent être soit indépendants et ouverts, soit incorporés à un four. Le mode de tremp peut être soit continu (petites pièces à intervalles rapprochés), soit discontinu (grosses charges espacées).

Les prescriptions de sécurité particulières aux équipements de tremp font l'objet de la norme NF EN 746-8 [49].

Les bacs seront construits suivant les prescriptions de l'article R. 233-46 du Code du travail. Notamment, les bacs de grandes dimensions doivent être conçus de façon à empêcher les travailleurs d'y tomber. Des mesures appropriées doivent

préserver les personnes contre les risques de débordement, d'éclaboussures et de déversement par rupture des parois.

Dans tous les cas de figure, l'attention devra se porter sur :

- l'implantation des bacs dans le local de travail,
- la conception des bacs de tremp,
- la prévention des risques en exploitation,
- l'information et la formation du personnel.

Cependant, les différents types de fluides utilisés pour les trempes ne conduisent pas à des risques équivalents. Les bains d'huile, à cause de leur inflammabilité, présentent des risques spécifiques par rapport aux bains d'eau ou aux bains de polymères.

La projection de liquide chaud est un risque commun à tous les bains de tremp. Elle risque essentiellement d'être provoquée par la chute ou l'introduction trop brutale d'une pièce.

Le cas des bains de sels, également utilisés pour des traitements thermo-chimiques a déjà été traité ; leur utilisation pour des trempes présente des risques similaires.

#### Les bains d'eau

Le seul risque important est celui de projection pouvant entraîner des brûlures.

Les additifs utilisés dans l'eau peuvent cependant générer des risques spécifiques.

#### Les bains de polymère

Les bains de polymère sont apparus dans le milieu des années 70. Les polymères utilisés sont solubles dans l'eau. Les bains sont constitués d'eau, de polymères et d'additifs (anti-mousse et anticorrosion).

Les principales familles de polymères utilisés sont :

- les polyacrylates,
- les polyalkylènes glycol,
- les polyalcools vinyliques,
- les polyvinylpyrrolidones.

Les propriétés de tremp peuvent être ajustées en fonction de la nature du polymère, de sa concentration et de la température du bain. Les polymères peuvent souvent être utilisés avec des équipements conçus pour les huiles.

ENCADRÉ N° 3

## RISQUES LIÉS AUX ÉMISSIONS DES BAINS DE POLYMÈRES

Les bains de polymères chauffés au contact de pièces chaudes (températures pouvant atteindre 1 000 °C) dégagent un certain nombre de substances chimiques malgré la présence d'eau qui tend à limiter l'élévation de température. Le *tableau II* donne les principaux produits de dégradation thermique en fonction de la nature du polymère. La dégradation conduit également à la formation de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone.

Les quatre familles de polymères émettent, lors de leur dégradation thermique, des produits irritants et sensibilisants pour les voies respiratoires : des aldéhydes, de l'ammoniac... Les polyacrylates émettent du formaldéhyde, un aldéhyde classé cancérigène de catégorie 3 (effet cancérigène possible) [41].

Les polyvinylpyrrolidones émettent du benzène, un cancérigène de catégorie 1 (substances connues pour être cancérigènes chez l'homme) et de la *N*-vinylpyrrolidone, dont les propriétés toxicologiques sur l'homme sont mal connues [42]. Des travaux récents ont montré que ce produit

était cancérigène par inhalation chez certains animaux. De fortes quantités de *N*-vinylpyrrolidone ont été trouvées dans des bains de tremp usagés.

En comparaison, les huiles de tremp dégagent moins de produits irritants, mais elles forment des composés polycycliques aromatiques qui sont des cancérigènes de catégorie 2 (substances assimilées à des substances cancérigènes pour l'homme).

◆ Les risques chimiques engendrés par la tremp aux polymères sont donc réels, même si la nature des produits formés n'est pas identique à celles des produits générés par les huiles de tremp.

◆ Les bains à base de polyvinylpyrrolidones demandent une attention particulière, à cause des quantités importantes de *N*-vinylpyrrolidone formées.

◆ En tout état de cause, le fonctionnement des bains de tremp aux polymères nécessite l'utilisation de dispositifs d'aspirations des vapeurs et fumées.

TABLEAU II

### PRODUITS DE DÉGRADATION THERMIQUE DES POLYMÈRES

Type de polymère	Principaux produits de dégradation thermique
Polyacrylates	Monomères acryliques, aldéhydes (formaldéhydes, acétaldéhyde, acroléine)
Polyalkylènes glycol	Aldéhydes (acétaldéhyde, propanal, propenal, acétone, 2-pentanone)
Polyalcools vinyliques	Acide acétique, acétaldéhyde, méthyléthyle cétone, acétate de vinyle, acétate d'éthyle
Polyvinylpyrrolidone	Ammoniac, acide cyanhydrique, benzène, acétonitrile, <i>N</i> -vinylpyrrolidone

Ils permettent de réaliser une grande partie des traitements classiquement réalisés avec des bains d'huile tout en éliminant certains des risques associés à ceux-ci :

- compte tenu de la teneur en eau des bains (en général plus de 50 %), le risque d'incendie est éliminé,
- les émissions de fumées dangereuses sont réduites,
- après traitement, les pièces n'ont pas à être dégraissées, un simple nettoyage à l'eau suffit.

Les polymères sont à préférer aux huiles, à partir du moment où ils permettent de réaliser le traitement voulu.

### Les bains d'huile

Les principaux risques lors de l'utilisation de bains d'huile pour des trempes sont :

- l'incendie,
- les projections de liquide,
- les dégagements de brouillards d'huile et de gaz toxiques.

Ces différents risques seront d'autant plus importants que la température de l'huile de trempe est élevée. On distingue de façon schématique deux types de trempe à l'huile :

- celle à huile froide, où la température moyenne de l'huile ne dépasse pas 80 °C et où la température maximum reste inférieure à 100 °C ;
- celle à huile chaude, où la température de l'huile peut dépasser les 100 °C (en général 120 à 200 °C).

### Risques d'incendie

L'inflammation est, le plus souvent, consécutive à :

- l'utilisation d'une huile à point d'éclair trop bas,
- une surchauffe par suite d'un volume de bain trop faible par rapport à celui des pièces traitées,
- une insuffisance ou une défaillance du système de refroidissement,
- un blocage de la charge chaude en cours d'immersion : l'huile vaporisée s'enflamme au contact de la partie « au rouge » de la pièce,
- un débordement d'huile faisant suite à un moussage provoqué par une introduction d'eau.

Pour prévenir les risques d'inflammation, il faut :

- Utiliser des huiles à point d'éclair supérieur d'au moins 30 °C à la température de travail.

- Installer un dispositif de contrôle de la température associé à une alarme. Un système de verrouillage automatique de la trempe par blocage des moyens de manutention peut compléter l'ensemble.

- Installer un dispositif de refroidissement permettant de maintenir la température de l'huile, surtout lorsque les conditions d'exploitation sont sévères. Les dispositifs de refroidissement peuvent être soit à air, soit à eau. Ceux à eau (perdue ou recyclée), extérieurs au bac ou intérieurs, doivent présenter une bonne sécurité en ce qui concerne les risques de fuite, en particulier par une pression d'épreuve du circuit d'eau suffisamment élevée. Déconseillés pour les bacs à huile chaude, ils seront réservés aux bacs à huile froide. La pression de l'huile dans l'échangeur doit être supérieure à la pression de l'eau.

- Doubler le dispositif automatique de descente des charges (s'il existe) par un dispositif manuel manœuvrable à distance. Prévoir des cuves de volume suffisant. Le niveau minimum, à froid, doit être suffisant pour assurer un fonctionnement correct des différents organes du bac (agitateurs, immersion des charges, prises d'huile, immersion des thermoplongeurs...).

Le niveau maximum en exploitation est obtenu, à partir du précédent, en tenant compte de la dilatation de l'huile, de l'immersion des charges, des ondulations dues à l'agitation. Au-dessus, comme ultime sécurité, un trop-plein capable d'absorber le maximum du débit prévisible, de préférence par déversoir, avec retour à une citerne de stockage.

Ce trop-plein est prévu pour agir avant tout débordement du bac, compte tenu des ondulations liées à l'agitation.

- Installer un moyen de contrôle de la teneur en eau de l'huile. L'eau peut provenir de l'air ambiant pendant les périodes d'arrêt, du stockage d'huile, de fuites du dispositif de refroidissement, d'accessoires ou des ouvertures du toit.

- Choisir une huile présentant une bonne résistance à la formation de mousses en présence d'air, compte tenu des dispositifs d'agitations.

Pour éviter la propagation de l'incendie, il faut [43] :

- Prévoir la mise en place d'un couvercle sur le bac. Les bacs de grandes dimensions et tout particulièrement, les bacs en fosse affleurant au niveau du sol, seront recouverts de couvercles fixes dans

les parties ne servant pas à l'introduction des pièces. Pour la zone de trempe proprement dite, il est conseillé d'employer un couvercle amovible et une rambarde de protection.

- Installer un dispositif de vidange rapide avec réceptacle de volume équivalent.

- Prévoir des dispositifs d'extinction adaptés (mousse, CO<sub>2</sub>...), en fonction des dimensions des bacs utilisés. Pour les petits bacs (de l'ordre de 1 à 2 m<sup>2</sup> de surface), deux extincteurs portatifs à CO<sub>2</sub>, mousse ou poudre. Pour les bacs plus importants, un dispositif fixe d'extinction par gaz inerte ou gaz halogéné à déclenchement automatique.

Une commande manuelle du déclenchement peut compléter le dispositif. Elle sera très accessible et à distance suffisante du bac pour la sécurité du personnel. L'installation de l'ensemble sera réalisée et contrôlée par des spécialistes qualifiés.

Les buses de diffusion du produit extingueur seront installées dans le bac sous le couvercle et de façon à provoquer la rupture du jet, afin d'éviter l'éjection de l'huile hors du bac. Des précautions seront prises pour éviter également la mise hors service par la chaleur. L'encrassement des buses (soumises aux vapeurs d'huile) sera contrôlé périodiquement.

Toutes les dispositions doivent être prises pour éviter la propagation d'un feu de bac à huile en cas de débordement : conception de galeries techniques et cloisons pare-feu, murets.

En plus des dispositifs d'extinction propres au bac, l'atelier doit être équipé de moyens suffisants de lutte contre le feu. Des voies de repli seront prévues pour le personnel, ainsi que des exutoires de fumée en toiture.

### Risques d'intoxication

Les bains d'huile émettent des fumées en quantités importantes lors des opérations de trempe. Les gouttelettes d'huile contenues dans ces fumées ont la composition de l'huile qui, au cours de son vieillissement, s'enrichit en produits de dégradation dangereux.

Les huiles peuvent notamment contenir à l'état neuf des hydrocarbures polycycliques aromatiques, qui sont cancérigènes. Les surchauffes de l'huile lors des contacts avec les pièces chaudes favorisent la formation de ces composés.

Les expositions prolongées aux brouillards d'huile peuvent conduire à des affections de la peau et des poumons. Celles-ci sont reconnues comme maladies professionnelles (tableaux n<sup>os</sup> 36 et 36bis).

Les salariés exposés aux huiles minérales bénéficient d'une surveillance médicale spéciale.

**Pour se prémunir** des émissions des bains d'huile (2) :

- capter, au plus près de la source, les aérosols et vapeurs émises lors des opérations de trempe,
- renouveler périodiquement le contenu des bacs avec des huiles neuves.

#### Autres risques

Les émissions d'aérosols d'huile entraînent la formation de films gras sur les sols et l'ensemble des structures de l'atelier créant des risques de chute. Les mesures décrites de prévention des risques d'incendie et d'intoxication permettent de limiter ce risque.

#### Les bains de plomb

Les bains de plomb sont peu utilisés. Une de leurs plus importantes applications est le traitement de fils métalliques. Les principaux risques et les moyens de prévention décrits pour les bains de sels restent valables pour les bains de plomb. La toxicité du plomb impose, en plus, des conditions particulièrement rigoureuses d'utilisation de ces équipements pour la protection des salariés et de l'environnement.

Le plomb fond à 327 °C et dégage, au-dessus de 500 °C, des vapeurs qui s'oxydent au contact de l'air pour former des particules d'oxyde de plomb. La contamination par le plomb se fait en grande partie par inhalation des poussières. Cependant, une part de la contamination peut se produire par voie digestive, en particulier lorsque des règles d'hygiène strictes ne sont pas respectées. Les affections dues à l'exposition au plomb sont reconnues comme maladie professionnelle [49] (pour des informations complémentaires, cf. [50]).

#### Principales mesures de prévention

- Equiper les bacs de dispositifs de captage efficaces.

- Respecter des règles d'hygiène strictes :

- interdiction de boire, manger, fumer sur les lieux de travail,
- lavage des mains et du visage avant les repas,
- changement des vêtements après le travail,
- les vestiaires doivent permettre la séparation des vêtements de travail et de ville,
- des douches doivent être à la disposition des salariés.

- Faire réaliser un suivi spécifique des personnels exposés par la médecine du travail (pour des informations plus précises sur la réglementation applicable au plomb, cf. [51]).

## 4. Techniques associées

Avant ou après traitement thermique, les pièces peuvent subir différents traitements. Ceux-ci sont susceptibles de présenter des risques spécifiques.

Avant le traitement thermique, les pièces sont soumises à un nettoyage qui sera effectué :

- soit mécaniquement : sablage, grenailage, etc. Les risques principaux sont liés à l'utilisation d'abrasifs susceptibles d'être inhalés par les opérateurs, notamment la silice qui peut entraîner la silicose. Cette maladie fait l'objet des tableaux de maladies professionnelles n<sup>os</sup> 25 et 25bis. Les opérations de sablage font l'objet d'un décret spécifique (décret du 6 juin 1969) ;

- soit chimiquement : décapage, dégraissage..., les risques principaux proviennent de l'utilisation de produits acides ou alcalins et de solvants et sont ceux :

- de brûlure chimique et d'irritation des voies respiratoires pour les produits acides ou alcalins,
- d'incendie, d'explosion et de maladies professionnelles pour les solvants selon leur nature (tableaux des maladies professionnelles n<sup>os</sup> 4, 4bis, 12 et 84 [47]).

Pour la prévention des risques liés au dégraissage et au grenailage, cf. [52, 53].

Dans certains cas, des traitements de réservation peuvent être appliqués avant traitement thermique sur certaines parties des pièces. Les zones ainsi traitées ne sont pas affectées par le traitement thermochimique sous atmosphère appliquée.

Les produits de traitement peuvent notamment être à base soit de silicate de soude, soit d'anhydride borique. Dans ce dernier cas ils contiennent un solvant à base de toluène, de xylène ou de white-spirit. Le silicate de soude est un produit corrosif, il est nécessaire de prendre des précautions pour éviter tout contact avec la peau et surtout les yeux. Le toluène, le xylène et le white-spirit (mélange d'hydrocarbures) sont des produits nocifs et inflammables. Lors de l'application des produits de réservation les contenant, il est nécessaire de prévoir des moyens d'aspiration des vapeurs (pour plus d'information sur leur toxicité et sur les précautions à prendre, cf. [54 à 56]).

Après le traitement thermique, les pièces pourront être soumises à un traitement de finition qui sera soit un traitement mécanique (grenailage) soit, le plus souvent, un traitement de protection provisoire. Ces traitements à base de produits divers (vernis pelable, huile, etc.) sont appliqués par immersion en cuve ou par pulvérisation. Des dispositifs adaptés de captage des vapeurs et des aérosols doivent être mis en place [57, 58].

## 5. Aspects généraux de prévention

### 5.1. Choix technologiques

Parmi les différentes technologies permettant d'arriver à un résultat donné, certaines présentent des niveaux de risque plus faibles ou des risques plus faciles à maîtriser. Ces technologies sont à privilégier et ce, particulièrement en cas de nouvelles installations ou de renouvellement d'appareil. Ainsi :

- Les fours à atmosphère doivent être préférés aux bains de sels, ceux-ci présentant des risques très importants et difficiles à maîtriser (toxicité, explosion, incendies, brûlures, etc.).

- Les fours à basses pressions seront également préférés aux bains de sels et même aux fours fonctionnant à pression atmosphérique. Leurs principaux avantages sont : la parfaite étanchéité de ces fours, les plus faibles quantités de gaz utilisés, le haut niveau d'automatisation des opérations.

Sur le plan purement technique, on notera également la possibilité de réaliser

(2) Il est possible de se référer au guide de ventilation publié par l'INRS (cf. [48]).

des trempes sous gaz et la plus faible déformation des pièces permettant souvent des gains sur l'usinage.

■ Les atmosphères obtenues par mélange de gaz sont à privilégier par rapport à celles obtenues par les générateurs de gaz, qu'ils soient endothermiques ou exothermiques.

■ Les systèmes d'instillation de liquides dans les fours utilisant une pompe sont à préférer à ceux utilisant une alimentation sous pression.

■ Les bains polymères présentent sur les bains d'huile l'avantage d'éliminer les risques d'incendie.

## 5.2. Conception générale des locaux

Les établissements réalisant des traitements thermiques sont des installations classées pour la protection de l'environnement ; deux arrêtés types sont susceptibles de leur être appliqués [59, 60]. Ces arrêtés imposent un certain nombre de contraintes sur la conception des bâtiments.

Pour les autres aspects, il est possible de se référer aux guides de l'INRS sur la conception des locaux de travail [61 à 63].

## 5.3. Formation

En complément des mesures de prévention techniques, la formation et la sensibilisation des utilisateurs aux risques et aux moyens de les prévenir a une importance toute particulière.

Ces actions doivent toucher toutes les personnes concernées et particulièrement les travailleurs temporaires. Les bonnes pratiques dans le domaine de la sécurité ne doivent jamais être considérées comme définitivement acquises, ce qui implique de renouveler régulièrement des actions de formation et de sensibilisation.

## GLOSSAIRE

### AUSTÉNITE

Phase des aciers qui existe au-dessus d'une certaine température (720 °C dans le cas des aciers au carbone) de structure cubique à face centrée. L'austénite peut dissoudre jusqu'à 0,2 % de carbone.

### BAINITE

Produit de décomposition de l'austénite, agrégat de cristaux de ferrite et de carbure de fer.

### CIRCULATEUR D'ATMOPHÈRE

Dispositif permettant de brasser l'atmosphère d'un four de façon à l'homogénéiser.

### CRAQUAGE

Décomposition thermique de molécules en molécules de plus faible masse moléculaire.

### LIMITE ÉLASTIQUE

Limite au-delà de laquelle toute augmentation de la contrainte entraînera une déformation irréversible du matériau.

### MARTENSITE

Solution sursaturée de carbone dans le fer ; elle apparaît lors du refroidissement rapide de l'austénite.

### POINT D'ÉCLAIR

Température minimale à laquelle, dans des conditions d'essais spécifiés, un liquide émet suffisamment de vapeurs inflammables capables de s'enflammer à l'air en présence d'une source d'inflammation. Au-dessous de cette température, la substance n'émet pas assez de vapeurs pour s'enflammer. Plus le point d'éclair est bas, plus la substance est inflammable.

### RÉSILIENCE

Caractérise l'énergie nécessaire pour rompre un matériau lors d'un choc.

## BIBLIOGRAPHIE

1. NF EN 407 - Gants de protection contre les risques thermiques. Paris - La Défense, AFNOR, 1994, 8 p.
2. NF EN 388 - Gants de protection contre les risques mécaniques. Paris - La Défense, AFNOR, 1994, 20 p.
3. NF EN 531 - Vêtements de protection pour les travailleurs de l'industrie exposés à la chaleur. Paris - La Défense, AFNOR, 1994, 20 p.
4. Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage. Paris, INRS, 1999 (2<sup>e</sup> éd.), ED 798, 40 p.
5. Répertoire des fournisseurs. Protection individuelle. Les membres supérieurs. Paris, INRS, 1998, ED 275, 48 p.
6. NF EN 171. Protection individuelle de l'œil. Filtre pour infrarouge. Paris - La Défense, AFNOR, 1992, 5 p.
7. Champs électriques. Champs magnétiques. Ondes électromagnétiques. Guide à l'usage du médecin du travail et du préventeur. Paris, INRS, 1995, ED 785, 136 p.
8. HEE G., BARBARA J.J. et coll. - Valeurs limites d'expositions aux agents physiques en ambiance de travail. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 1993, ND 1886, 24 p.
9. ICNIRP - Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques, électromagnétiques. Champs alternatifs (de fréquence variable dans le temps, jusqu'à 300 GHz. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 2001, ND 2143, 29 p.
10. NF EN 60519-1 - Sécurité dans les installations électrothermiques. Partie 1 : Règles générales. Paris - La Défense, AFNOR, 1995, 24 p.
11. NF EN 60519-3 - Sécurité dans les installations électrothermiques. Partie 2 : Règles particulières pour les installations de fusion par induction. Paris - La Défense, AFNOR, 1997, 25 p.
12. Protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques. Paris, INRS, 1998, ED 723, 160 p.
13. NF EN 60519-2 - Sécurité dans les installations électrothermiques. Partie 2 : règles particulières pour les installations de chauffage par résistance. Paris - La Défense, AFNOR, 1995, 20 p.
14. NF EN 746-1 - Équipements thermiques industriels. Partie 1 : Prescriptions générales de sécurité pour les équipements thermiques industriels. Paris - La Défense, AFNOR, 1997, 50 p.
15. NF EN 746-2 - Équipements thermiques industriels. Partie 2. Prescriptions de sécurité concernant la combustion et la manutention des combustibles. Paris - La Défense, AFNOR, 1997, 61 p.
16. Ponts roulants. Paris, INRS, 1998, ED 716, 88 p.
17. Les mélanges explosifs. Paris, INRS, 1994, ED 335, 148 p.
18. NF EN 746-3 - Équipements thermiques industriels. Partie 3 : prescriptions de sécurité pour la génération et l'utilisation des gaz d'atmosphère. Paris - La Défense, AFNOR, 1997, 44 p.
19. NF EN 161 - Robinets automatiques de sélection pour brûleurs à gaz et appareils à gaz. Paris - La Défense, AFNOR, 1998, 46 p.
20. Oxyde de carbone. Paris, INRS, 1996, coll. Fiche toxicologique, FT 47, 5 p.
21. Ammoniac et solutions aqueuses. Paris, INRS, 1997, coll. Fiche toxicologique, FT 16, 5 p.
22. Sulfure d'hydrogène. Paris, INRS, 1997, coll. Fiche toxicologique, FT 32, 5 p.
23. Méthanol. Paris, INRS, 1997, coll. Fiche toxicologique, FT 5, 3 p.
24. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. Documents pour le Médecin du Travail, 1999, 79 TC 74, 16 p.
25. Principales vérifications périodiques. Paris, INRS, 1999, ED 828, 80 p.
26. Consignation et déconsignation. Paris, INRS, 1993, ED 754, 24 p.
27. Pas de vie sans oxygène. Paris, INRS, 1978, ED 632, 2 p.
28. Guide pratique de ventilation n° 8 - Ventilation des espaces confinés. Paris, INRS, 1987, ED 703, 10 p.
29. Pr EN 746-7 - Équipements thermiques industriels. Partie 7 : prescriptions particulières de sécurité pour les équipements thermiques sous vide. Paris - La Défense, AFNOR, 1997.
30. NF EN 746-5 - Équipements thermiques industriels. Partie 5 Prescriptions particulières de sécurité pour les équipements thermiques à bain de sel. Paris - La Défense, AFNOR, 2000.
31. EN 166 - Protection individuelle de l'œil. Spécifications. Paris - La Défense, AFNOR, 1995, 34 p.
32. NF EN 1731 - Protecteurs des yeux et du visage grillagés, à usage industriel et non-industriel, pour la protection contre les risques mécaniques et/ou contre la chaleur. Paris - La Défense, AFNOR, 1998, 26 p.
33. Monoxyde d'azote. Peroxyde d'azote. Paris, INRS, 1996, coll. Fiche toxicologique, FT 133, 4 p.
34. Cyanure de sodium. Cyanure de potassium. Paris, INRS, 1992, coll. Fiche toxicologique, FT 111, 6 p.
35. Cyanure d'hydrogène et solutions aqueuses. Paris, INRS, 1997, FT 4, 5 p.
36. Guide pratique de ventilation 0 - Principes généraux de ventilation. Paris, INRS, 1986, ED 695, 36 p.
37. Guide pratique de ventilation 1 : L'assainissement de l'air des locaux de travail. Paris, INRS, 1989, ED 657, 20 p.
38. Atelier de traitement de surface. Prévention des risques chimiques, santé et sécurité des personnes. Paris, INRS, 1998, ED 827, 60 p.
39. TRIOLET J., PETIT J.M. et coll. - Le stockage des produits chimiques au laboratoire. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 1999, ND 2105, 9 p.
40. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 1999, ND 2098, 19 p.
41. Aldéhyde formique et solutions aqueuses. Paris, INRS, 1997, coll. Fiche toxicologique, FT 7, 6 p.
42. 1-Vinyl-2-pyrrolidone. Paris, INRS 2000, coll. Fiche toxicologique, FT 235, 4 p.
43. Incendie et lieu de travail. Paris, INRS, 1999, ED 789, 72 p.
44. Les extincteurs d'incendie portatifs et mobiles. Paris, INRS, 2000, ED 802, 60 p.
45. Les agents extincteurs gazeux utilisés dans les installations fixes d'extinction. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 1999, ND 2106, 9 p.
46. Sécurité incendie sur les lieux de travail. Désenfumage. Choix des surfaces exutoires. Cahiers de Notes Documentaires - Hygiène et Sécurité du Travail, 1999, ND 2119, 25 p.
47. Les maladies professionnelles. Guide d'accès aux tableaux du régime général et du régime agricole de la Sécurité sociale. Paris, INRS, 2000, ED 835, pp. 228-229.
48. Guide pratique de ventilation n° 6. Captage et traitement des brouillards d'huiles entières. Paris, INRS, 1995, ED 680, 24 p.
49. NF EN 746-8 - Équipements thermiques industriels. Partie 8 : prescriptions particulières de sécurité pour les équipements de trempe. Paris - La Défense, AFNOR, 2000.
50. Plomb et composés minéraux. Paris, INRS, 1998, coll. Fiche toxicologique, FT 59, 8 p.
51. Le plomb. Documents pour le Médecin du Travail, 1998, Aide-mémoire juridique TJ 1, 28 p.
52. Dégraissage des métaux. Choix des techniques de produits. Paris, INRS, 1994, coll. Fiche pratique de sécurité, ED 48, 4 p.
53. Guide pratique de ventilation n° 14 - Décapage, des-sablage, dépolissage au jet libre en cabine. Paris, INRS, 1994, ED 768, 16 p.
54. Toluène. Paris, INRS, 1991, coll. Fiche toxicologique, FT 74, 6 p.
55. Xylènes. Paris, INRS, 1992, coll. Fiche toxicologique, FT 77, 6 p.
56. White-Spirit. Paris, INRS, 1998, coll. Fiche toxicologique, FT 94, 4 p.
57. Guide pratique de ventilation 2 : Ventilation des cuves et baignoires de traitement de surface. Paris, INRS, 1998, ED 651, 24 p.
58. Guide pratique de ventilation 9.1. - Ventilation des cabines d'application par pulvérisation de produits liquides. Paris, INRS, 1999, ED 839, 24 p.
59. Métaux et alliages. Trempe, recuit ou revenu - Arrêté du 30 juin 1997, relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2561.
60. Chauffage et traitements industriels par l'intermédiaire de bains de sels fondus. Arrêté du 30 juin 1997, relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2562.
61. Conception des lieux de travail. Démarches, méthodes et connaissances techniques. Paris, INRS, 2000, ED 718, 128 p.
62. Conception des lieux de travail. Obligations des maîtres d'ouvrage. Réglementation. Paris, INRS, 1996, ED 773, 96 p.
63. COLTRA. La conception des lieux de travail. Paris, INRS, 1998, CD-Rom n° CD 3.

## Autres documents

- ◆ **POUPEAU P.** - Traitements thermiques et conception structurale des métaux et alliages M1105. Les Techniques de l'ingénieur, 1981, vol. MD1, 16 p.
- ◆ Ces réactions qui font l'atmosphère. CETIM-Informations, 1992, 131, pp. 49-52.
- ◆ Dégraisser sans risque. CETIM-Informations, 1999, 163, pp. 47-49.
- ◆ Fours sous atmosphère : traiter en toute sécurité. CETIM-Informations, 1999, 164, pp. 35-38.
- ◆ Fours sous vide : Propres et sûrs sous contrôle. CETIM-Information, 2000, 170, pp. 47-49.
- ◆ Fours à bains de sels : prévenir et limiter les risques. CETIM-Informations, 1999, 165, pp. 47-49.
- ◆ Trempe : attention aux bac et à l'huile. CETIM-Informations, 2000, 167, pp. 53-55.
- ◆ La projection d'abrasifs n'est pas inoffensive. CETIM-Informations, 2000, 168, pp. 51-52.