



## Tirs en masses chaudes à l'aide d'explosifs

## 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 CNAMTS, les CRAM-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, CHSCT, 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 intéressants sur l'hygiène et la sécurité du travail : publications (périodiques ou non), affiches, audiovisuels, site Internet... Les publications de l'INRS sont distribuées par les CRAM. 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 CNAMTS 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 le Fonds national de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

## Les Caisses régionales d'assurance maladie (CRAM) et Caisses générales de sécurité sociale (CGSS)

Les Caisses régionales d'assurance maladie 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, CHSCT, 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).

# Tirs en masses chaudes à l'aide d'explosifs

Sécurité du personnel

Jean-Michel Petit,  
département Expertise et conseil technique, INRS Paris

Nous remercions la société Nitro-Bickford pour son aide à la rédaction de ce document, le SYNDUEX (Syndicat national des entrepreneurs de travaux publics spécialisés dans l'utilisation d'explosif) pour avoir bien voulu le relire en faisant part de ses remarques et les sociétés DP Consultants et Gérard Paré pour avoir accepté d'être consultés.

# SOMMAIRE

Introduction.....	3
<b>1   Domaines d'application .....</b>	<b>3</b>
1.1. Électrometallurgie et industries similaires .....	3
1.2. Sidérurgie.....	3
1.3. Cimenterie.....	4
<b>2   Mesures et techniques de sécurité</b>	
<b>dans les tirs en masses chaudes .....</b>	<b>4</b>
2.1. Intervention d'entreprises extérieures.....	4
2.2. Zone de préparation.....	5
2.3. Forage des trous de tir.....	5
2.4. Protection de la charge contre la chaleur.....	5
2.5. Préparation du chargement et plan de tir.....	6
2.6. Mise en œuvre d'un tir en masses chaudes .....	6
<b>3   Caractéristiques de la chaîne pyrotechnique .....</b>	<b>7</b>
3.1. Explosif.....	7
3.2. Cordeau détonant .....	7
3.3. Détonateurs .....	7
3.4. Engins électriques de mise à feu .....	7
3.5. Ligne de tir.....	7
3.6. Vérifications.....	7
<b>4   Consignes générales de mise en œuvre .....</b>	<b>7</b>
4.1. Mesures à prendre relatives à l'exécution des travaux.....	7
4.2. Mise en œuvre du tir – procédure normale: une seule charge.....	8
4.3. Mise en œuvre du tir – procédure exceptionnelle: plusieurs charges.....	8
<b>5   Qualification du personnel.....</b>	<b>8</b>
<b>6   Formation initiale.....</b>	<b>9</b>
6.1. Objectif .....	9
6.2. Programme .....	9
6.3. Méthodes et moyens pédagogiques.....	9
<b>Conclusion.....</b>	<b>10</b>
<b>Pour en savoir plus.....</b>	<b>10</b>
<b>Annexe 1   Glossaire.....</b>	<b>11</b>
<b>Annexe 2   Adresses utiles.....</b>	<b>11</b>

## Introduction

Une **masse** correspond à un **volume de matériaux indésirables** résultant d'une activité industrielle. Cette masse est dite **chaude** si elle est susceptible de présenter, en un point quelconque, une température comprise **entre 50 °C et 1 600 °C**.

Dans la pratique industrielle, de nombreux procédés engendrent ces « masses chaudes » qui, si elles ne sont pas détruites rapidement, sans interrompre l'exploitation, perturbent ou même rendent impossible le fonctionnement normal de l'installation.

Lors d'opérations d'entretien de fours, il est également nécessaire de détruire des produits qui se sont déposés sur les parois et fonds de four, avant qu'ils aient eu le temps de se refroidir.

L'emploi de charges explosives est souvent inévitable pour éliminer ces masses chaudes sans arrêter ou en arrêtant le moins longtemps possible les installations. Ce procédé ne se fait qu'en cas d'impossibilité technique d'employer les moyens conventionnels et doit être fait selon des techniques de sécurité tenant compte du risque d'explosion prématurée par influence thermique de la masse chaude sur la charge explosive. En effet, si le problème n'est pas trop sérieux (colmatage d'un trou de coulée en métallurgie, anneau en formation dans une cimenterie...), l'utilisation d'un canon à balles explosives ou de moyens mécaniques peut suffire à le résoudre (piqueurs hydrauliques, etc.).

Les équipes de tirs pouvant ainsi être exposées à des risques graves, le tir à l'explosif devra être mené selon des techniques de sécurité particulières qui tiendront compte du risque d'explosions non contrôlées. Le principal objectif de ce document est de fournir des consignes de sécurité adaptées.

L'ensemble des préconisations et recommandations applicables aux tirs en masses chaudes a ainsi été défini dans ce document qui pourrait servir de référence à toute formation dans ce domaine.

## 1 Domaines d'application

Même si les domaines concernés sont limités et circonscrits, le procédé de destruction par tir à l'explosif en masses chaudes est pratiqué dans de nombreuses installations industrielles utilisant différents types de fours (hauts-fourneaux, fours électrolytiques...). Les délais d'intervention étant réduits, ils ne provoquent pas le complet refroidissement des masses à enlever, notamment :

- les unités de transformation et de fabrication des métaux (fer, aluminium, zinc, plomb, etc.) telles que la sidérurgie (destruction des garnis, des lours de hauts-fourneaux, des résidus de fonte) et l'électrometallurgie (dégagement des trous de coulée de fours d'aluminium, etc.);
- les cimenteries.

Le procédé gagne maintenant de nombreux autres secteurs industriels.

### 1.1. Électrometallurgie et industries similaires

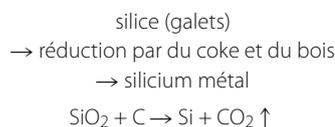
Il s'agit de l'ensemble des procédés et des techniques d'extraction des métaux à partir de leurs minerais.

Les minerais sont en général :

- des oxydes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ...);
- des sulfures ( $\text{PbS}$ ,  $\text{CuS}$ ...);
- des silicates ( $\text{AlSiO}_2$ ...);
- des carbonates...

On procède à la réduction de l'oxyde par du carbone dans des fours ou des hauts-fourneaux après éventuellement passage des sulfures à l'oxyde par chauffage en présence d'air.

#### Exemple : préparation du silicium



Cette opération s'effectue dans des fours portés à haute température grâce à des électrodes en carbone parcourues par des courants de forte intensité (plusieurs milliers d'ampères).

Le minerai ainsi que le réducteur utilisé (combustible) contiennent des impuretés qui se retrouvent dans les scories et les crasses, en général plus légères et infusibles, qui surnagent sur le métal en fusion. Des composés intermédiaires de la réaction chimique (par exemple le carbure de silicium) peuvent aussi subsister dans le four. Ces produits peuvent former des bouchons qui ralentissent ou interrompent le fonctionnement normal des opérations. Ils peuvent aussi se déposer sur les parois des fours et devront être éliminés lors des opérations d'entretien périodique.

### 1.2. Sidérurgie

La sidérurgie est la métallurgie du fer et de l'acier. Ces métaux sont préparés dans les hauts-fourneaux à partir de minerai (oxyde de fer), de coke qui sert de réducteur et de fondant qui permet d'abaisser la température de fusion du métal.

Parmi les masses chaudes susceptibles de se produire dans les procédés industriels, celles qui apparaissent en sidérurgie exposent les équipes de tir aux risques les plus graves en raison de l'importance de leur masse portée à très haute température et se refroidissant très lentement à cœur.

La fragmentation des masses chaudes par des tirs à l'explosif est nécessaire en sidérurgie dans les conditions et circonstances ci-dessous.

### 1.2.1. Fragmentation des « lousps » de creusets lors de l'arrêt d'un haut-fourneau

Lors de l'arrêt du haut-fourneau, on trouvera au fond du creuset le « loup » ; dans cette opération, réduisent les risques inhérents au tir les deux facteurs favorables suivants :

- possibilité d'évacuer complètement le personnel étranger au tir ;
- possibilité de noyer à l'eau jusqu'à obtenir une température de surface stable inférieure à 50 °C.

### 1.2.2. Incident de coulée de haut-fourneau

Dans ce cas, le haut-fourneau reste en marche ; du personnel doit continuer l'exploitation à proximité de la zone de tir. Les masses sont souvent en couches épaisses, jusqu'à trois mètres de haut. Le refroidissement à l'eau peut présenter des dangers, le refroidissement à l'air est généralement insuffisant.

### 1.2.3. Formation de garnis de haut-fourneau

Un des incidents de fonctionnement d'un haut-fourneau est la formation d'un « garni » dans le ventre, masse de fonte et de coke collée à la paroi et qu'il faudra éliminer à l'aide d'explosifs.

Parfois difficiles à détecter et à réduire, les garnis de haut-fourneau peuvent former des voûtes. Ils peuvent être durs ou mous ; ils peuvent aussi présenter des gradients de température importants. Ils doivent être détruits pendant la marche des hauts-fourneaux, le personnel d'exploitation restant à proximité de la zone de tir. Des « coups de poussière » dus à l'explosion de poussière de coke portée à haute température sont à craindre lors du percement des trous de tir. Il n'est pas possible de refroidir les masses avant de procéder au tir en raison des dangers d'explosion d'un mélange hydrogène/oxygène produit par décomposition de l'eau portée à plus de 1 100 °C ou des dangers d'éclatement dus à la vaporisation brutale de poches d'eau qui pourraient se former dans la masse poreuse.

## 1.3. Cimenterie

Dans le procédé de fabrication du ciment, le matériau de départ est le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) – 80 % –, puis on ajoute argiles, gypse et divers adjuvants (boues industrielles, laitier, pouzzolane, etc.). Après broyage fin s'opère une agglomération en boulettes appelée « cru ».

Le « cru » est séché puis transformé partiellement en chaux vive dans un four rotatif à une température d'environ 1 450 °C pour produire le clinker qui après broyage fin donnera le ciment.

Il arrive que se forment dans le four des anneaux, par agglomération de fines sur les parois – anneaux qui peuvent boucher le four et qu'il faudra éliminer. Les poussières récupérées dans les fours le sont dans des « cyclones » qui peuvent se colmater.

La plupart des opérations de « débouchage » des fours doivent se réaliser pendant le fonctionnement, un arrêt à ce moment-là étant impossible, pour des raisons tant économiques que techniques.

## 2 Mesures et techniques de sécurité dans les tirs en masses chaudes

La plupart des accidents qui se sont produits dans divers pays, lors de tirs en masses chaudes, n'ont pu être expliqués que par l'explosion prématurée de cartouches d'explosifs ou de détonateurs soumis aux influences thermiques des masses chaudes.

Le procédé de tir à l'explosif doit donc être fait selon des techniques de sécurité tenant compte du risque d'explosion prématurée par influence thermique de la masse chaude sur la charge explosive.

Il a paru utile de présenter les techniques de sécurité à mettre en œuvre et d'en déduire les consignes applicables aux tirs en masses chaudes.

On peut aisément comprendre que l'utilisation d'explosifs dans de telles conditions nécessite :

- **un explosif et des artifices adaptés ;**
- **des méthodes de travail particulières ;**
- **des mesures de sécurité draconiennes et qu'il faudra appliquer avec une rigueur toute particulière ;**
- **une coordination parfaite entre l'industriel, responsable de la sécurité générale dans son usine, et le boutefeu, responsable de l'utilisation des explosifs, d'autant plus que l'industriel ignore le plus souvent les pratiques des boutefeux et réciproquement.**

### 2.1. Intervention d'entreprises extérieures

Dans le cas d'interventions d'une (ou plusieurs) entreprise(s) extérieure(s) et quelle que soit la durée d'intervention, si celle-ci nécessite l'exécution de travaux dangereux, il y a obligation d'une coordination entre les entreprises afin de prévenir les risques liés à l'interférence entre les activités, les installations et les matériels des diverses entreprises.

Cette coordination doit se dérouler en plusieurs étapes :

- information préalable par l'entreprise extérieure ;
- inspections préalables conjointes des lieux de travail, des matériels et installations concernés ;
- réalisation d'une évaluation des risques ;
- rédaction d'un plan de prévention ;
- inspections et révisions périodiques.

Le chef de l'entreprise extérieure a l'obligation d'informer des modalités de son intervention en matière de prévention des risques :

- ses salariés ;

- le CHSCT;
- le médecin du travail;
- le service prévention de la CRAM ou de la CGSS;
- etc.

## 2.2. Zone de préparation

Lors d'un tir en masses chaudes, les explosifs ne devront séjourner qu'un temps extrêmement limité au contact de la masse chaude. La seule façon de procéder, et ceci en contradiction avec la réglementation usuelle sur l'utilisation des explosifs, sera de préparer et d'amorcer les charges par avance dans une zone abritée de la chaleur et de la circulation des personnes et des engins et que l'on appellera « zone de préparation ».

Cette zone sera soigneusement reconnue lors de l'établissement du plan de prévention et définie sur celui-ci. Elle sera scrupuleusement délimitée et balisée. À l'intérieur de cette zone, pendant les opérations de préparation des charges, ne sera présent que le personnel strictement indispensable.

Cette zone devra tenir compte des aires de dangerosité au cas où une détonation se produirait à l'air libre. Ces aires se calculent à travers la formule suivante :

$$D = K \cdot \sqrt[3]{Q}$$

où D représente le rayon de la zone de danger en m;

Q représente la charge d'explosif en kg;

K est un coefficient numérique.

Lorsque la valeur de K croît de 1,1 à 8,1, les effets à la distance D passent d'un risque mortel à coup sûr à un risque de blessures légères, ceci pour des effets directs de l'explosion sur l'organisme. On considère, de plus, que le risque est mortel pour un coefficient de 5 lorsque des personnes sont projetées par le souffle sur un obstacle.

Par ailleurs, les projections, pour leur part, peuvent produire des effets à des distances considérables.

## 2.3. Forage des trous de tir

Dans les lours friables non métalliques à forte teneur en carbone et dans les réfractaires, il est possible d'utiliser des foreuses. Dans les lours métalliques à haute dureté, il est nécessaire d'employer les lances à oxygène, ce qui augmente localement la température de la masse à proximité des trous de tir.

Lors d'un forage quel qu'il soit, il est obligatoire de porter un équipement individuel de protection contre la flamme et la chaleur car les opérateurs peuvent être exposés :

- à la projection de fragments incandescents;
- à la flamme d'une explosion de poussières de carbone qui peut se propager très loin hors de l'orifice.

Dans le cas de garnissages en voûte, les trous de tir sont généralement disposés horizontalement en quinconce

et à la partie inférieure pour favoriser la fragmentation. Il est rappelé que les plates-formes d'accès doivent être d'origine conçues assez larges :

- d'une part, pour permettre le recul nécessaire lorsque le forage est praticable directement du niveau de la plate-forme;
- d'autre part, pour rendre possible l'installation d'un échafaudage laissant une voie de dégagement assez large pour le chef de tir et ses aides lorsqu'ils rejoignent l'abri avant de procéder au tir.

Dans le cas des lours de creuset, les trous de tir sont généralement percés verticalement à l'aide de la lance à oxygène selon deux cercles concentriques calculés pour dégager une couronne assez large pour que le travail des briqueteurs soit possible.

Le diamètre et la profondeur des trous ainsi que leur espacement doivent être déterminés en fonction de l'épaisseur, de la texture et de l'importance du garnissage, qui ont été déterminées par sondage et en tenant compte des caractéristiques de l'explosif.

## 2.4. Protection de la charge contre la chaleur

Pour protéger la charge d'explosif des effets de la chaleur intense au moment de la mise en œuvre, elle sera placée à l'intérieur d'un tube carton fort et sec dont une extrémité aura préalablement été bouchée par un matériau isolant et résistant à une température élevée (tampon d'argile, etc.). Pour les tirs s'effectuant dans des masses instables ou molles, il pourra être nécessaire d'utiliser un tube guide en acier.

Ce tube sera suffisamment long pour assurer une protection thermique du cordeau détonant servant à l'amorçage de la charge.

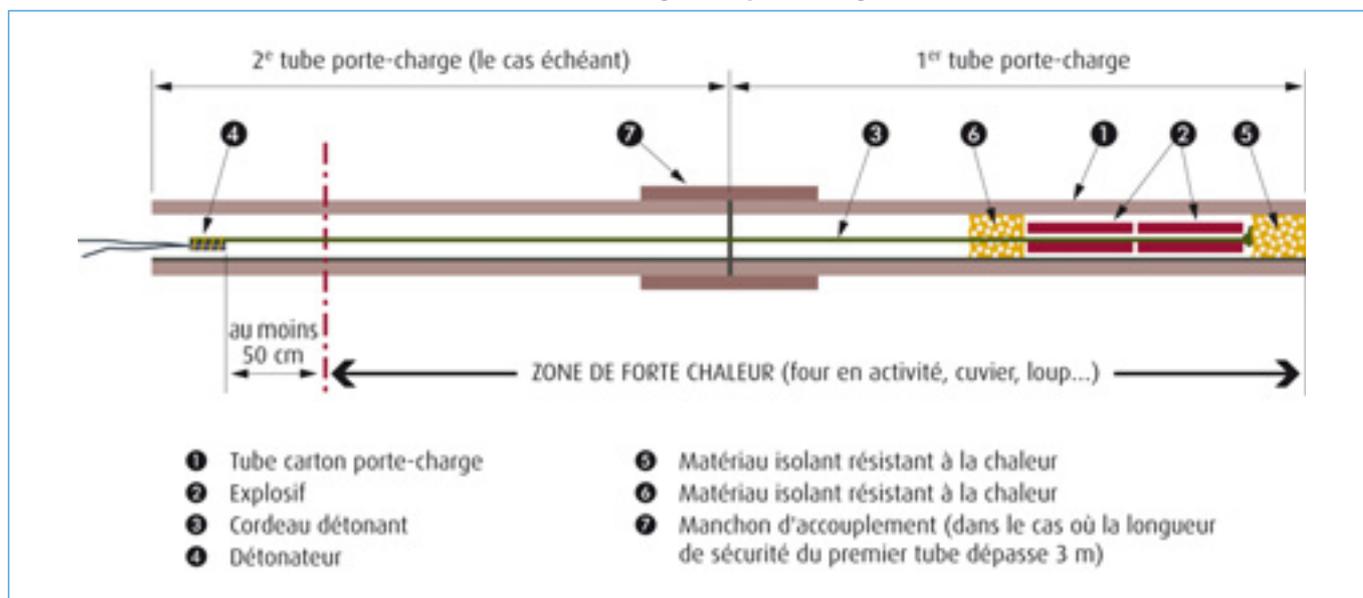
Les qualités que doit présenter un tube porte-charge utilisable pour les tirs en masses chaudes sont les suivantes :

- pouvoir d'isolation thermique;
- tenue à haute température;
- souplesse relative permettant au tube de pouvoir être introduit sans problème dans le trou de mine qui n'est pas toujours rectiligne;
- absence de fragilité;
- faible taux de confinement pour diminuer la probabilité d'un régime détonant en cas de décomposition de la charge explosive par effet thermique.

Le cordeau détonant étant particulièrement sensible à la chaleur, on pourra être amené à renforcer sa protection thermique par la mise en place d'un tube carton supplémentaire ou d'un film d'aluminium avec isolant en laine de roche.

La température sera contrôlée régulièrement jusqu'aux opérations de tir à l'aide d'un matériel certifié de type « thermocouple ».

## Ensemble tube guide et porte-charge



© Atelier Cause

### 2.5. Préparation du chargement et plan de tir

Il est nécessaire que le chef de tir établisse un plan de tir précisant le nombre et la position des trous, la charge d'explosif dans chaque trou et la nature du tube de chargement, le délai de chargement, les signaux conventionnels de début et de fin d'alerte, les limites de la zone de tir et les moyens d'interdire les accès.

Il est toujours obligatoire de tirer au coup par coup et d'utiliser des tubes porte-charges dont l'emploi permet de réduire le temps de présence des opérateurs dans la zone dangereuse et d'éviter les contacts intempestifs de l'explosif et des masses chaudes.

**Pour les tirs s'effectuant dans des masses instables ou molles**, il peut être nécessaire d'utiliser un tube guide en acier d'un diamètre intérieur de 48 mm minimum et d'un diamètre extérieur de 50 mm maximum muni d'un cône de pénétration. Ce tube est percé, au niveau de la charge d'explosif, de trous pour assurer l'évacuation de l'air contenu dans le tube.

**La charge est placée à l'intérieur d'un tube en carton** d'un diamètre intérieur de 30 mm minimum et d'un diamètre extérieur de 45 mm maximum.

Le tube guide en carton doit dépasser d'au moins 50 cm du milieu chaud de façon à ce que le détonateur soit à l'écart de toute source de chaleur.

Le détonateur est relié au cordeau détonant et placé à l'intérieur du tube porte-charge dans sa partie extérieure à la masse chaude.

Le diamètre intérieur du tube carton doit lui permettre de rester intact, pendant cinq minutes, à la température à laquelle il va être exposé.

L'introduction des charges dans le tube porte-charge doit être effectuée hors des zones où l'on peut s'attendre à un échauffement et le chargement ne doit être amené dans la zone de tir qu'au déclenchement du début d'alerte.

Le chef de tir doit sonder le trou à l'aide d'un tube porte-charge vide, fermé à son extrémité, et ne doit ordonner le chargement que dans le cas où le passage du tube est parfaitement libre (notamment lorsqu'il utilise des tubes porte-charges métalliques).

Il est recommandé d'interposer des écrans pare-flammes réalisés par exemple avec des chutes difficilement inflammables de bandes transporteuses convenablement suspendues, placées à une distance suffisante du blindage pour que le chef de tir et ses aides aient le recul nécessaire au chargement du tube et l'espace pour évacuer rapidement la zone de tir.

Le personnel de l'équipe de tir doit porter des équipements de protection individuelle adaptés, en particulier contre la chaleur et contre les flammes.

### 2.6. Mise en œuvre d'un tir en masses chaudes

La procédure complète de mise en œuvre d'un tir en masses chaudes doit être suivie scrupuleusement. Elle comporte un volet administratif, la « procédure d'ouverture de chantier », à laquelle on ne doit pas accorder moins d'importance qu'à la procédure purement technique. Elle a pour but de fixer les responsabilités et les limites de l'action de chacun dans le respect d'un texte qui organise la coordination entre plusieurs entreprises intervenant sur un même site.

## 3 | Caractéristiques de la chaîne pyrotechnique

### 3.1. Explosif

Les chefs d'entreprise et les maîtres d'œuvre doivent s'assurer que l'explosif retenu satisfait aux dispositions ci-après.

- Selon l'épreuve CSE 3.02 F2, la température d'auto-inflammation, mesurée dans l'épreuve « de chauffage progressif » doit être supérieure à 200 °C. La valeur de 200 °C est une valeur d'épreuve. Dans les conditions normales d'utilisation, cela ne signifie pas qu'il n'y aura pas réaction à une température inférieure.
- Selon l'épreuve CSE 3.31 M2, relative à la sensibilité à la chaleur sous confinement, le diamètre limite de l'évent doit être inférieur à 3 mm.
- Selon l'épreuve CSE 3.51 J1, la sensibilité au frottement, sur l'appareil à frottement, ne saurait être inférieure à 200 N.
- Selon l'épreuve CSE 3.44 I4, la sensibilité aux chocs, évaluée à l'aide du « mouton de choc 30 kg » doit faire apparaître une hauteur de non-propagation de réaction violente supérieure ou égale à 4 m.
- La cartouche doit être amorçable au cordeau détonant, placé dans son canal axial.
- La cartouche unitaire est de 50 g et a un diamètre externe de 28 mm.
- La date de fabrication est marquée sur chaque cartouche. Le fabricant est tenu d'indiquer, sur la fiche de données de sécurité et sur l'emballage, la date limite d'utilisation et la plage des températures de stockage.

La note documentaire de l'INRS ND 2159 (cf. « Pour en savoir plus » en fin d'ouvrage) décrit un explosif répondant aux exigences ci-dessus.

### 3.2. Cordeau détonant

Le cordeau détonant à utiliser est celui préconisé par le fabricant des cartouches pour amorcer, en toute sécurité, l'explosif retenu.

### 3.3. Détonateurs

Les détonateurs doivent être compatibles avec les risques électriques, électroniques ou thermiques ambiants. Il s'agit de détonateurs électriques de classes 0 ou 1 du type « super haute intensité » ou « haute intensité ».

### 3.4. Engins électriques de mise à feu

L'appareil de mise à feu doit être d'un type certifié et adapté au type de détonateur utilisé. Il devra, en outre, être d'un modèle dont la mise en action soit la plus rapide possible.

### 3.5. Ligne de tir

La ligne de tir doit être constituée de câble en cuivre préconisé par les fabricants d'explosifs, sans raccord ni épissure. Elle sera mise en place sans être sur le sol et sera accrochée le long de la paroi afin d'éviter le piétinement de celle-ci.

### 3.6. Vérifications

L'entreprise en charge des tirs doit vérifier l'état du matériel et son bon fonctionnement avant que l'équipe de tir se rende sur le chantier. La réalité de cette vérification est portée au plan de prévention.

La vérification de la ligne de tir et des détonateurs est faite avec un vérificateur de circuit électrique de tir d'un type certifié.

## 4 | Consignes générales de mise en œuvre

### 4.1. Mesures à prendre relatives à l'exécution des travaux

Avant le début des travaux et à l'initiative du chef de l'entreprise utilisatrice, il est procédé à une réunion d'ouverture de chantier. Les employeurs intéressés définissent en commun les mesures à prendre par chacun d'eux en vue d'éviter les risques professionnels. Cette concertation est concrétisée par un plan de prévention écrit, incluant le plan de tir, quel que soit le nombre d'heures de travail prévisible. Le chantier est constitué de la zone de préparation des charges et de la zone de tir.

Les abords du chantier, définis par le plan de prévention, sont dégagés de façon à favoriser les conditions de circulation du personnel nécessaire à l'exécution du tir. Le chantier est balisé de manière visible et durable.

Des vigies, identifiables par un moyen défini au plan de prévention, sont mises en place sous la responsabilité du préposé au tir, en collaboration avec l'entreprise utilisatrice, afin de faire évacuer du chantier le personnel et d'en interdire l'accès : leur nombre et leur répartition sont fonction de la taille et de la configuration du chantier. Les moyens d'accès et de repli du personnel de l'équipe de tir ont été définis au plan de prévention.

Le maître d'ouvrage positionne, pour mettre le boufeuf en sécurité et en accord avec lui, un poste de tir à proximité de la zone de tir.

Un affichage, normalement lisible à 10 m au moins, indique le code des signaux sonores définis au plan de prévention. Les codes des différents signaux sonores de début et de fin d'opération doivent être distincts les uns des autres.

## 4.2. Mise en œuvre du tir – procédure normale : une seule charge

On procède au chargement et à l'exécution d'un **seul** coup de mine à la fois.

**Il ne devrait pas être procédé à un tir si la température à l'intérieur du trou de mine excède 1 600 °C. Toutefois, dans des cas très exceptionnels et avec l'accord écrit de l'entreprise utilisatrice, on peut envisager de procéder à un tir jusqu'à des températures voisines de 1 900 °C.**

La chronologie des opérations, reportée au plan de prévention, est destinée à limiter au strict minimum le temps d'exposition des charges à la chaleur :

1. rédaction des consignes de tir ;
2. rédaction du plan de tir, définition d'un plan de sécurité et balisage ;
3. percement des trous de mine ;
4. aménagement du poste de tir ;
5. approvisionnement sur le chantier de la quantité d'explosifs et d'artifices de tir strictement nécessaires aux tirs d'une journée de travail depuis le dépôt d'explosifs permanent ou temporaire ;
6. mesure de la température de contact en fond de trou ou de la température ambiante à laquelle va être réalisé le tir ;
7. mise en place du tube guide en acier, si nécessaire ;
8. mise en place des protections contre les projections de tirs, si nécessaire ;
9. sondage des trous de mine à l'aide d'un tube carton vide identique au tube porte-charge, si nécessaire ;
10. vérification de l'appareil de mise à feu et retrait du dispositif de commande de la mise à feu qui est conservé par le boutefeu ;
11. vérification du cordeau détonant : état et longueur d'un seul tenant ;
12. préparation du tube porte-charge en carton :
  - garnir le fond,
  - introduire la charge explosive (bloquer la charge avec un bouchon d'argile en cas d'inclinaison du tube porte-charge vers le boutefeu),
  - relier le détonateur au cordeau détonant et abriter le détonateur dans le tube (s'il y a doublage du détonateur, le montage des deux détonateurs est en parallèle) ;
13. mise en place des vigies aux accès du chantier ;
14. signal d'évacuation de la zone dangereuse, signal de type 1 défini au plan de prévention ;
15. vérification de l'évacuation du site hormis le personnel nécessaire à la mise à feu de la charge ;
16. mise en place de la ligne de tir, en s'assurant que son intégrité soit respectée jusqu'à la fin des opérations ;
17. vérification de la ligne de tir ;
18. raccordement de la ligne de tir au détonateur ;
19. vérification du circuit de tir (ligne de tir raccordée au détonateur) ;
20. raccordement de la ligne de tir à l'appareil de mise à feu ;
21. avertissement de l'imminence du tir par un signal de type 2 défini au plan de prévention ;
22. mise en place du tube porte-charge en carton amorcé dans les trous de mine et déclenchement du chronomètre ;
23. repli de l'équipe de chargement aux postes protégés prédéfinis ;

24. contrôle par le préposé au tir que toute l'équipe de chargement est à l'abri ;

25. tir.

Les procédures de vérifications, afin de prendre en compte les éventuels ratés de tir, seront les suivantes :

- lorsque le coup de mine a été perçu :
  - attendre 5 minutes,
  - vérifier le résultat,
  - avertir de la fin du tir par le signal de type 3 défini au plan de prévention ;
- lorsque le coup de mine n'a pas été perçu :
  - attendre la manifestation d'autodestruction de l'explosif (si nécessaire pendant un délai minimum d'une heure si cette manifestation d'autodestruction n'a pas été perçue ou s'il y a un doute),
  - repartir à partir de la ligne 11 ci-dessus.

## 4.3. Mise en œuvre du tir – procédure exceptionnelle : plusieurs charges

**Exceptionnellement**, si cela est véritablement nécessaire pour l'efficacité de l'opération, on peut procéder à des tirs de quatre coups maximum si la température est comprise entre 50 et 400 °C et de deux coups maximum si la température est comprise entre 400 et 800 °C. Il faut alors impérativement respecter les conditions suivantes :

- cette procédure a été prévue au plan de prévention ;
- les charges sont introduites simultanément par autant d'artificiers qu'il est nécessaire pour assurer la simultanéité des opérations ;
- chaque trou reçoit les charges armées de **détonateurs identiques** instantanés, préaccordés entre eux en série ; pour plus de sécurité, il est préférable de les doubler. À chaque trou, les deux détonateurs doivent être raccordés entre eux en parallèle ;
- la chronologie des opérations respectera celle décrite ci-contre ;
- la vérification et le traitement des ratés de tir, par le responsable du tir, respectent les instructions du paragraphe suivant.

**La procédure de vérifications, afin de prendre en compte d'éventuels ratés de tir, sera, que des coups de mine aient été perçus ou non, d'attendre une heure avant de vérifier le résultat du tir et, si nécessaire, de reprendre les instructions décrites ci-contre à partir de la ligne 11.**

## 5 | Qualification du personnel

L'employeur doit s'assurer que le personnel est titulaire :

- d'une habilitation préfectorale d'emploi des explosifs ;
- d'un agrément préfectoral au titre de l'arrêté du 13 décembre 2005 ;
- du certificat de préposé au tir avec option n° 4 (tirs en masses chaudes) : le tir, le maniement et l'emploi des explosifs et des artifices de mise à feu, en masses chaudes, ne

doivent être confiés qu'à des préposés titulaires de ce certificat avec cette option ;

- du permis de tir : l'artificier doit être en possession d'un permis de tir établi par son employeur et annexé au plan de prévention, conformément aux dispositions du décret n° 87-231 du 27 mars 1987 du ministère des Affaires sociales et du décret n° 92-1164 du 22 octobre 1992 complétant le règlement général des industries extractives. Le permis de tir (d'une validité maximum de trois ans) est délivré **sous l'entière responsabilité du chef d'entreprise** qui a vérifié au préalable :

- la qualification nécessaire pour ce type d'opération,
- l'aptitude médicale reconnue pour la mise en œuvre des explosifs pour les tirs en masses chaudes,
- l'expérience suffisante (par exemple, une expérience minimale d'une quarantaine de tirs en doublon avec un boutefeu expérimenté pour ce type d'opération),
- un maintien annuel des connaissances avec rappel des points fondamentaux, tels que rigueur des procédures, positionnement du poste de tir, traitement des incidents de tirs, veille technique, échange d'expérience...

À l'ouverture de chaque chantier, le responsable de tir commentera les consignes générales de mise en œuvre (cf. chapitre 4).

## 6 | Formation initiale

La formation initiale du personnel est sanctionnée par l'examen de l'option complémentaire n° 4 du certificat de préposé au tir tel que défini dans l'arrêté du 26 mai 1997 modifié du ministère chargé de l'éducation nationale.

Le référentiel de compétences de cet arrêté prévoit une formation à l'option complémentaire n° 4 (tirs en masses chaudes) d'une durée minimale de huit heures. Les ressources de cette formation pourraient s'appuyer majoritairement sur le présent document.

Il apparaît nécessaire que la durée de la formation initiale soit plus importante afin d'apporter aux candidats les connaissances complémentaires pour une meilleure sécurité vu les spécificités d'utilisation des explosifs dans des environnements de travail très différents (chimie, métallurgie, cimenterie, etc.).

La formation aura lieu, de préférence, dans un site industriel (ou à proximité) ayant recours aux tirs en masses chaudes, afin de permettre aux stagiaires d'appréhender les conditions de tir, et sera réalisée par un organisme de formation compétent et certifié.

Cette formation devrait avoir une durée de trois jours et être définie comme ci-dessous.

### 6.1. Objectif

L'objectif est de préparer le candidat à se présenter à l'option n° 4 (tirs en masses chaudes) en prenant en compte

toutes les prescriptions du présent document, et en particulier les points suivants :

- identifier la situation et déterminer le mode d'intervention adapté ;
- assurer l'acheminement des matériels et outillages ;
- avoir un avis critique sur les consignes de tirs qui lui ont été préalablement remises et en apporter, éventuellement, des modifications écrites et approuvées ;
- mettre en place les chaînes pyrotechniques ;
- vérifier la mise en place des systèmes de protection ;
- définir le poste de tir et les positionnements des vigies ;
- prévoir et mettre en place le repliement avant tir ;
- mettre en œuvre les consignes de sécurité précédant et suivant la mise à feu ;
- détecter et analyser les incidents de chargement ;
- détecter et analyser les ratés de tir.

## 6.2. Programme

### 6.2.1. Apport de connaissances (partie théorique)

- Présentation des différentes activités :
  - Présentation des différentes installations industrielles
  - Explication de leur fonctionnement
  - Présentation des produits et constituants présents
  - Explication des situations d'exploitation qui nécessitent l'emploi d'explosifs en masses chaudes...

- Réglementation spécifique :
  - Étude de documents relatifs à la sécurité lors de tirs en masses chaudes
  - Réglementation de base sur l'usage, le stockage et le transport des explosifs
  - Intervention des entreprises extérieures, plan de prévention...

- Mise en œuvre d'un tir en masses chaudes :
  - Particularisme du tir en masses chaudes
  - Présentation d'une chaîne pyrotechnique type (cf. par exemple, dans « Pour en savoir plus », la note documentaire de l'INRS ND 2159)
  - Explication d'une opération de tir...

- Notions de responsabilité du chef d'entreprise et du boutefeu

### 6.2.2. Entraînement (partie pratique)

La pédagogie correspondra à la simulation d'une opération de tir et conduira à la mise en œuvre de la procédure sur le terrain et à l'approche concrète des produits, composants, etc. nécessaires aux tirs en masses chaudes.

## 6.3. Méthodes et moyens pédagogiques

On aura notamment recours à :

- des exposés et des discussions étayés par des moyens pédagogiques adaptés ;

- une méthode interactive s'appuyant sur des expériences vécues;
- une mise en application pratique effectuée par chaque stagiaire;
- une remise à chaque stagiaire d'un dossier documentaire contenant au moins les documents relatifs à la sécurité lors de tirs en masses chaudes, dont les brochures et les notes documentaires de l'INRS ainsi que les supports pédagogiques remis par l'organisme de formation.

Un **recyclage** d'une journée devrait être prévu, tous les trois à cinq ans.

Il viserait à assurer la capacité des personnes ayant reçu leur autorisation à effectuer des tirs et à actualiser leurs connaissances.

Son contenu pourrait comprendre, entre autres :

- un rappel des points fondamentaux;
- une mise à jour des connaissances;
- un retour d'expérience du vécu des tirs.

## Conclusion

Depuis quelques années, la sécurité des tirs en masses chaudes a été améliorée par :

- l'emploi de tubes guides résistants et de tubes porteurs en carton offrant une bonne protection thermique de la charge explosive;
- la mise en œuvre d'une chaîne pyrotechnique plus sûre et validée;
- la délivrance d'une option « tirs en masses chaudes » pour les titulaires du certificat de préposé au tir;
- la mise à disposition de diverses publications du réseau Prévention ou des syndicats professionnels concernés.

Cependant, des accidents, parfois mortels, se produisent encore. Aussi le respect de toutes les techniques de sécurité relatives aux tirs en masses chaudes proposées et décrites dans ce document méritent-elles d'être attentivement et scrupuleusement suivies et respectées.

Rappelons, enfin, que la formation, une maintenance du matériel, la stricte observation des consignes générales et particulières de mise en œuvre restent nécessaires pour maintenir un niveau de sécurité approprié à la nature des risques encourus dans le cas des tirs en masses chaudes.

**En complément des textes réglementaires, les chefs d'entreprise qui procèdent ou font procéder, même à titre secondaire ou occasionnel, à des tirs à l'explosif en masses chaudes, sont invités à respecter toutes les mesures figurant dans le présent document.**

### POUR EN SAVOIR PLUS

- Le Marchand (J.-Y.), *Tirs en masses chaudes. Formation Nitro-Bickford*, Nitro-Bickford, Paris, 2000.
- Montagneux (P), Samiez (J.-L.), *Préparation au certificat de préposé au tir. Option complémentaire. Tirs en masses chaudes. Formation Nitro-Bickford*, Nitro-Bickford, Paris, 2007.
- *Tirs en masses chaudes. Techniques de sécurité et mise au point d'une chaîne pyrotechnique*, Paris, INRS, ND 2159, 2001 (document disponible uniquement en format PDF sur le site [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)).
- *Recueil d'épreuves d'agrément des produits explosifs du ministère de l'Industrie*, Commission des substances explosives (CSE), approuvé par arrêté ministériel du 31 juillet 1980.
- *Intervention d'entreprises extérieures. Aide-mémoire pour la prévention des risques*, Paris, INRS, ED 941, 2009.
- *Conception des usines d'incinération des ordures ménagères*, Paris, INRS, ED 946, 2006.

## ANNEXE 1 | Glossaire

### Accessoire de tir

Produit explosif permettant d'amorcer ou de transmettre une inflammation ou une détonation, telle que détonateur, mèche, cordeau détonant, etc.

### Amorçage

Opération qui consiste à mettre en place un détonateur.

### Bourrage

Opération de mise en place de la bourre.

### Bourre

Matériau neutre mis en place dans un trou de mine à la suite d'une charge pour faciliter son travail pendant l'explosion et réduire les projections.

### Boutefeu

Travailleur effectuant ou surveillant les opérations de mise en œuvre des produits explosifs.

### Cartouche amorce

Cartouche munie d'un détonateur.

### Chaîne pyrotechnique

Assemblage des différents éléments permettant de provoquer une explosion : la charge d'explosif, le dispositif d'amorçage et le dispositif de mise à feu.

### Charge

Ensemble de produits explosifs mis en place définitivement dans un trou de mine ou contre un bloc.

### Circuit de tir

Ensemble des circuits électriques qui sont raccordés entre eux au moment de la mise à feu.

### Ligne de tir

Partie du circuit de tir entre le poste de tir et les lieux de tir.

### Matériel de tir

Matériel non pyrotechnique tel que appareil de mise à feu, vérificateur de circuit de tir, etc.

### Mine

Trou de mine ayant reçu sa charge.

### Plan de tir

Document indiquant l'emplacement et les caractéristiques des trous de mine ainsi que le détail de mise en œuvre des produits explosifs.

### Produits explosifs

Terme général désignant toute matière explosive et les objets en contenant.

### Trou de mine

Trou obtenu par forage et destiné à recevoir une charge.

## ANNEXE 2 | Adresses utiles

### INERIS

#### Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc technologique ALATA  
BP 2  
60550 Verneuil-en-Halatte  
Tél. 03 44 55 66 77

### INRS

#### Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

30, rue Olivier-Noyer  
75680 Paris cedex 14  
Tél. 01 40 44 30 00

### SFEPA

#### Syndicat des fabricants d'explosifs, de pyrotechnie et d'artifices

14, rue de la République  
92800 Puteaux  
Le Diamant A  
92909 Paris-La-Défense cedex  
Tél. 01 46 53 11 92 et 11 93

### SYNDUEX

#### Syndicat national des entrepreneurs de travaux publics spécialisés dans l'utilisation de l'explosif

3, rue de Berri  
75008 Paris  
Tél. 01 44 13 31 86



Pour commander les films (en prêt), les brochures et les affiches de l'INRS, adressez-vous au service prévention de votre CRAM ou CGSS.

## Services prévention des CRAM

### 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@cram-alsace-moselle.fr  
www.cram-alsace-moselle.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.cram-alsace-moselle.fr

(68 Haut-Rhin)  
11 avenue De-Lattre-de-Tassigny  
BP 70488  
68018 Colmar cedex  
tél. 03 88 14 33 02  
fax 03 89 21 62 21  
www.cram-alsace-moselle.fr

### 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  
fax 05 57 57 70 04  
documentation.prevention@cramaquitaine.fr

### AUVERGNE

(03 Allier, 15 Cantal, 43 Haute-Loire,  
63 Puy-de-Dôme)  
48-50 boulevard Lafayette  
63058 Clermont-Ferrand cedex 1  
tél. 04 73 42 70 76  
fax 04 73 42 70 15  
preven.cram@wanadoo.fr

### BOURGOGNE et 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)  
ZAE Cap-Nord  
38 rue de Cracovie  
21044 Dijon cedex  
tél. 03 80 70 51 32  
fax 03 80 70 51 73  
prevention@cram-bfc.fr  
www.cram-bfc.fr

### BRETAGNE

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

### CENTRE

(18 Cher, 28 Eure-et-Loir, 36 Indre,  
37 Indre-et-Loire, 41 Loir-et-Cher, 45 Loiret)  
36 rue Xaintraillies  
45033 Orléans cedex 1  
tél. 02 38 81 50 00  
fax 02 38 79 70 29  
prev@cram-centre.fr

### CENTRE-OUEST

(16 Charente, 17 Charente-Maritime,  
19 Corrèze, 23 Creuse, 79 Deux-Sèvres,  
86 Vienne, 87 Haute-Vienne)  
4 rue de la Reynie  
87048 Limoges cedex  
tél. 05 55 45 39 04  
fax 05 55 45 71 45  
cirp@cram-centreouest.fr  
www.cram-centreouest.fr

### 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  
prevention.atmp@cramif.cnamts.fr

### 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@cram-lr.fr

### 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. 0820 904 231 (0,118 €/min)  
fax 05 62 14 88 24  
doc.prev@cram-mp.fr

### 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  
service.prevention@cram-nordest.fr

### 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@cram-nordpicardie.fr  
www.cram-nordpicardie.fr

### NORMANDIE

(14 Calvados, 27 Eure, 50 Manche,  
61 Orne, 76 Seine-Maritime)  
Avenue du Grand-Cours, 2022 X  
76028 Rouen cedex  
tél. 02 35 03 58 22  
fax 02 35 03 58 29  
prevention@cram-normandie.fr

### 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. 0821 100 110  
fax 02 51 82 31 62  
prevention@cram-pl.fr

### 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 96 96  
fax 04 72 91 97 09  
preventionrp@cramra.fr

### SUD-EST

(04 Alpes-de-Haute-Provence,  
05 Hautes-Alpes, 06 Alpes-Maritimes,  
13 Bouches-du-Rhône, 2A Corse Sud,  
2B Haute-Corse, 83 Var, 84 Vaucluse)  
35 rue George  
13386 Marseille cedex 5  
tél. 04 91 85 85 36  
fax 04 91 85 75 66  
documentation.prevention@cram-sudest.fr

## Services prévention des CGSS

### GUADELOUPE

Immeuble CGRR, Rue Paul-Lacavé, 97110 Pointe-à-Pitre  
tél. 05 90 21 46 00 – fax 05 90 21 46 13  
lina.palmont@cgss-guadeloupe.fr

### GUYANE

Espace Turenne Radamonthe, Route de Raban,  
BP 7015, 97307 Cayenne cedex  
tél. 05 94 29 83 04 – fax 05 94 29 83 01

### LA RÉUNION

4 boulevard Doret, 97405 Saint-Denis Messag cedex 9  
tél. 02 62 90 47 00 – fax 02 62 90 47 01  
prevention@cgss-reunion.fr

### MARTINIQUE

Quartier Place-d'Armes, 97210 Le Lamentin cedex 2  
tél. 05 96 66 51 31 – 05 96 66 51 32 – fax 05 96 51 81 54  
prevention972@cgss-martinique.fr  
www.cgss-martinique.fr

## COLLECTION DES AIDE-MÉMOIRE TECHNIQUES

Certaines opérations d'entretien industrielles (notamment en sidérurgie, électroméallurgie et cimenterie) incluent la destruction d'importants dépôts très durs, appelés « masses chaudes », ceci sans arrêter les installations.

Ces masses chaudes doivent souvent être traitées à l'aide de produits explosifs. Les conditions normales d'utilisation de ces derniers ne pouvant être respectées en raison de l'environnement thermique, les équipes effectuant ces types de travaux sont exposées à des risques graves.

Ce document rappelle la particularité des tirs en masses chaudes et préconise des techniques de sécurité particulières à observer.

