

→ G. Chaloyard,  
Société Nobel Explosifs France,  
21270 Vonges

→ J.-M. Petit,  
Département Équipement de travail  
et ergonomie, INRS, Paris

# Tirs en masses chaudes

## Techniques de sécurité et mise au point d'une chaîne pyrotechnique

### HOT MASS BLASTING SAFETY TECHNIQUES AND DEVELOPMENT OF A PYROTECHNIC SYSTEM

Numerous industrial processes produce hot masses which hinder the manufacturing process. Explosives are used to eliminate them during maintenance phases. These explosives are subjected to high temperatures as the plants are generally not stopped or are only shut down briefly. To better prevent the risk of accidents, the French occupational risk prevention institution, in partnership with Nobel Explosifs France, undertook a study aimed at developing an explosive and a pyrotechnic system meeting the conditions laid down by the CNAM National health insurance fund. The experimental study determined numerous improvements: behaviour of explosives at high temperatures, optimisation of the initiation mode, and stabilisation with respect to ageing. It has also resulted in the production and distribution of a pyrotechnic system for hot mass blasting in compliance with the conditions set out in the CNAM technical note.

● hot mass blasting ● explosive ● use  
● prevention measure ● pyrotechnic system

De nombreux procédés industriels engendrent des masses chaudes qui gênent le processus de fabrication. Afin de les éliminer lors des phases d'entretien, on utilise des explosifs. Ces derniers sont soumis à de fortes températures car les installations ne sont généralement pas stoppées ou durant très peu de temps. Afin de mieux prévenir les risques d'accident, l'Institution prévention a entrepris une étude, en partenariat avec l'entreprise Nobel Explosifs France, afin de mettre au point un explosif et une chaîne pyrotechnique répondant aux dispositions adoptées par la CNAMTS (Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés).

L'étude expérimentale a permis de déterminer de nombreuses améliorations : comportement de l'explosif en température, optimisation par rapport au mode d'amorçage, stabilisation par rapport au vieillissement ; elle a abouti à la mise en fabrication et en distribution d'une chaîne pyrotechnique pour tirs en masses chaudes conformes aux dispositions de la note technique de la CNAMTS.

● tir en masse chaude ● explosif ● utilisation ● mesure de prévention ● chaîne pyrotechnique

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'explosif ou de détonateurs soumis aux influences thermiques des masses chaudes.

Depuis des années, la sécurité de ces tirs a été améliorée par l'emploi de tubes-guides résistants et de tubes porte-charge en carton offrant une protection thermique de la charge explosive. Des recherches ont été entreprises pour améliorer les paramètres de sécurité des tirs effectués dans des conditions plus sévères [1, 2]. Afin de compléter ces recherches, l'Institution prévention a jugé qu'une étude approfondie devenait nécessaire pour recommander le dispositif explosif le mieux adapté aux tirs en masses chaudes.

Pour ce faire, un travail a été mené, en accord avec le syndicat des fabricants

d'explosifs et de produits accessoires, par la Société Nobel Explosifs France (NEF, groupe SNPE), dans son établissement de Vonges, en exécution d'une convention signée entre elle et l'INRS.

## Introduction

### Objectifs

Dans la pratique industrielle, il peut se créer des masses chaudes qui, si elles ne sont pas détruites rapidement sans interrompre l'exploitation, perturbent ou rendent impossible le fonctionnement normal de l'installation. Lors des opérations d'entretien des fours, il est également nécessaire de détruire des produits qui se sont déposés sur les parois et dans le four, avant qu'ils ne soient refroidis. Le principal

procédé de destruction est le tir à l'explosif qui doit être mené selon des techniques de sécurité particulières.

Il n'existait pas de chaîne pyrotechnique validée. Les utilisateurs mettaient en œuvre des produits commerciaux sans savoir s'ils étaient totalement adaptés et sans connaître, en particulier, leur comportement en cas de ratés de tirs.

Une note technique adoptée par la CNAMTS fixe les dispositions auxquelles devrait satisfaire la chaîne pyrotechnique retenue pour une procédure sûre de tirs en masses chaudes. L'objectif principal de l'étude entreprise et décrite dans ce document a été de caractériser cette chaîne.

## Généralités

Les charges explosives, dont l'emploi est inévitable pour éliminer les masses chaudes sans arrêter ou en arrêtant le moins longtemps possible les installations, notamment les installations sidérurgiques, sont incluses dans des systèmes, dont la capacité calorifique est négligeable par rapport à celle des masses chaudes, et reçoivent un flux thermique qui dépend notamment :

- de la température des masses à cœur,
- de la conductibilité thermique des masses,
- de l'isolation thermique offerte par le dispositif de tir.

Rappelons qu'une « masse » correspond à tout volume de matériaux indésirables résultant d'une activité industrielle. Cette « masse » est dite « chaude » si elle est susceptible de présenter, dans le trou de mine ou en un point quelconque, une température comprise entre 50 °C et 1 600 °C.

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 elles se refroidissent très lentement à cœur.

## Prescription de la note technique de la CNAMTS

La note technique (*annexe D*), adoptée par les comités techniques nationaux des industries chimiques et des industries du bâtiment et des travaux publics lors de leurs réunions respectives des 14 et 15 novembre 1995, est relative à la sécurité du personnel lors des tirs à l'aide d'explosifs en masses chaudes.

Elle stipule qu'en complément des textes réglementaires, les chefs d'entreprise, dont tout ou partie du personnel relève du Régime général de la Sécurité sociale, qui procèdent ou font procéder, même à titre secondaire ou occasionnel, à des tirs à l'explosif en masses chaudes, sont invités à respecter les mesures figurant dans la note technique.

En particulier, ce document recommande aux chefs d'entreprise et aux maîtres d'œuvre de s'assurer que la chaîne pyrotechnique retenue satisfait aux dispositions ci-après :

### ■ ■ Pour l'explosif :

- 1 - selon l'épreuve CSE 3.02 F2, la température d'auto-inflammation, mesurée dans l'épreuve « de chauffage progressif » devra être supérieure à 200 °C ;
- 2 - selon l'épreuve CSE 3.31 M2, relative à la sensibilité à la chaleur sous confinement, le diamètre limite de l'événement devra être inférieur à 3 mm ;
- 3 - selon l'épreuve CSE 3.51 J1, la sensibilité au frottement, sur l'appareil à frottement, ne saurait être inférieure à 200 N ;
- 4 - selon l'épreuve CSE 3.44 I4, la sensibilité aux chocs, évaluée à l'aide du « mouton de choc 30 kg » devra faire apparaître une hauteur de non-propagation de réaction violente supérieure ou égale à 4 m ;
- 5 - la cartouche doit être amorçable au cordeau détonant, placé dans son canal axial ;
- 6 - la cartouche unitaire sera de 50 g et aura un diamètre externe de 28 mm ;
- 7 - la date de fabrication sera 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.

■ ■ Pour le cordeau détonant : le cordeau détonant à utiliser sera celui préconisé par le fabricant des cartouches.

■ ■ Pour les détonateurs électriques : les détonateurs électriques seront du type haute intensité.

■ ■ Pour les engins électriques de mise à feu : l'appareil de mise à feu doit être d'un type certifié.

■ ■ Pour la ligne de tir : la ligne de tir devra être constituée de câble(s) en cuivre préconisé(s) par les fabricants d'explosifs, sans raccord ni épissure.

## Étude expérimentale des composants pyrotechniques

Puisque les caractéristiques de la chaîne pyrotechnique ont été définies, il était souhaitable qu'une étude permette de mettre au point des composants du dispositif de tir les respectant.

Tel a donc été le principal objectif de l'étude menée par la Société NEF, dans le cadre de la convention précitée.

La Société NEF a axé son action en partant d'une émulsion explosive existante, l'Irémite 1000 S, dont elle estimait que la formule n'avait qu'à être adaptée au besoin spécifique que sont les tirs en masses chaudes.

L'Irémite 1000 S est constituée d'une phase aqueuse (nitrate d'ammonium, nitrate de sodium, eau) et d'une phase grasse.

## Étude préliminaire

Au cours d'une étude préliminaire, le comportement en température de l'explosif a, tout d'abord, été amélioré en modifiant la composition de la phase grasse, notamment en diminuant le taux de composants fortement hydrogénés puis la sensibilité de l'explosif a été optimisée et adaptée au mode d'amorçage, grâce à l'utilisation de microsphères de verre de caractéristiques particulières dont le taux a été optimisé.

A la suite de cette première étude de formulation, une fabrication pilote a été évaluée, tant sur le plan de la sécurité que sur le plan pyrotechnique.

## Résultats

### Tests de sécurité :

- épreuve d'Audibert-Koenen : chauffage en douille d'acier avec événement - référence AFNOR NFT 70-506 - (épreuve unifiée : CSE 3.31 M2 - SNPE n° 30 - GEMO FMD-054-A-1).

Le diamètre limite est de 1 mm ;

- épreuve de chauffage progressif ou température d'auto-inflammation - référence AFNOR NFT 70-504 - (épreuve unifiée : CSE 3.02 F2 - SNPE n° 47 - GEMO FMD-051-A-1).

La température d'auto-inflammation est supérieure à 400 °C ;

**Tests de caractérisation** (la caractérisation s'est limitée à l'étude de la sensibilité à l'amorce).

Un prototype de cartouches pour tirs en masses chaudes a été réalisé et chargé par de l'explosif Irémite 1000 S modifié comme indiqué précédemment :

- tirs positifs aux cordeaux détonants 10 g/m et 5 g/m de pentrite,
- tirs négatifs au cordeau détonant 3 g/m

Cette étude préliminaire a démontré la faisabilité d'une cartouche pour tirs en masses chaudes en utilisant la technologie des émulsions explosives et en effectuant une adaptation de la formule agréée Irémite 1000 S. Le comportement à chaud et la sensibilité au cordeau détonant de l'explosif obtenu sont conformes aux exigences de la note technique de la CNAMTS.

## Étude principale

Le programme de l'étude principale a été réalisé selon trois étapes.

### 1<sup>re</sup> étape : choix d'un explosif et vérification de sa conformité aux exigences de la note technique de la CNAMTS.

#### Mise au point de la formulation

Elle a porté principalement sur l'obtention d'une rhéologie adaptée au chargement par extrusion des étuis de cartouches pour tirs en masses chaudes, sur la stabilité physique de l'émulsion obtenue et sur sa densité.

En premier lieu, il s'agissait de redéfinir les constituants de la phase grasse de l'Irémite 1000 S, et en particulier le(s) combustible(s) et émulsifiant(s), de façon à satisfaire les exigences suivantes :

- bonne tenue en température : choix du (des) combustible(s) ;
- rhéologie permettant le chargement industriel par extrusion des étuis en polypropylène qui constituent l'enveloppe de la cartouche pour tirs en masses chaudes : choix d'un couple combustible(s) émulsifiant(s) ;
- stabilité physique en vieillissement optimal (supérieure à 1 an) : choix du couple combustible(s) - émulsifiant(s).

La recherche a débouché sur la sélection d'une phase grasse constituée d'une huile minérale spécifique en association avec un système émulsifiant de type surfactant et cosurfactant.

Une deuxième phase de la mise au point de la formulation a porté sur l'ajustement de la densité de l'explosif. Celle-ci a été réglée à l'aide de microsphères creuses en verre.

Pour la composition retenue, se référer au [tableau I](#).

Comparativement à l'Irémite 1000 S agréée, cet explosif est constitué de la même phase aqueuse, d'une phase grasse adaptée, d'un taux de microsphères légèrement supérieur. Sa densité est inférieure à 1,0.

TABLEAU I

PHASE AQUEUSE	Nitrate d'ammonium Nitrate de sodium Eau
PHASE GRASSE	Huile minérale spécifique Système émulsifiant
PHASE SOLIDE	Microsphères de verre

Pour l'étude de la conformité de cet explosif aux quatre premières exigences de la note technique de la CNAMTS, les essais ont porté principalement sur une composition dite « limite » (la plus pénalisante) – « bac 142 » – , contenant un taux d'eau proche de la limite inférieure et un taux de microsphères presque maximal.

Le [tableau II](#) regroupe l'ensemble des résultats obtenus.

L'explosif retenu satisfait aux quatre premières exigences de sécurité de la note technique de la CNAMTS; il convient de noter que cet explosif est doté de caractéristiques de sécurité supérieures à celles qui sont spécifiées dans la note technique.

Un essai de chauffage progressif a également été effectué sur une composition dont le taux de microsphères était plus faible – « bac 141 » –. La température d'auto-inflammation a également été trouvée supérieure à 400 °C.

### 2<sup>e</sup> étape : choix du cordeau détonant

À l'instar des essais effectués lors de l'étude préliminaire, un prototype de cartouches pour tirs en masses chaudes a été à nouveau réalisé avec les échantillons d'explosifs définis au paragraphe précédent et testé dans la même configuration.

## Résultats

### « Bac 141 » (à faible taux de microsphères) :

- cordeau détonant à 10 g/m de pentrite : 2 tirs positifs sur 2 ;
- cordeau détonant à 5 g/m de pentrite : tir négatif.

### « Bac 142 » (à fort taux de microsphères) :

- cordeau détonant à 10 g/m de pentrite : tir positif ;
- cordeau détonant à 5 g/m de pentrite : tir positif ;
- cordeau détonant à 3 g/m de pentrite : tir négatif.

Les cartouches pour tirs en masses chaudes chargées avec l'Irémite 1000 S modifiée sont donc sensibles au cordeau détonant à 12 g/m.

TABLEAU II

PRODUITS TESTÉS	« BAC 142 »	RAPPEL DES PRÉCONISATIONS DE LA NOTE TECHNIQUE DE LA CNAMTS
ÉPREUVES RÉALISÉES		
CHAUFFAGE PROGRESSIF ÉPREUVE CSE 3.02 F2	> 400 °C	> 200 °C
ÉPREUVE D'AUDIBERT-KJENEN ÉPREUVE CSE 3.31 M2	1 mm	< 3 mm
SENSIBILITÉ AU FROTTEMENT ÉPREUVE CSE 3.51 J1	0/30 à 353 N	≥ 200 N
SENSIBILITÉ AU CHOC ÉPREUVE AU MOUTON DE 30 KG ÉPREUVE CSE 3.44 I4	Hauteur de non réaction : ≥ 4 m	Hauteur de non propagation de réaction : ≥ 4 m

### 3<sup>e</sup> étape : fabrication de prototypes de cartouches de 50 g conformes à la note technique de la CNAMTS

Le plan de l'étui de la cartouche figure en *annexe II*. Le matériau retenu est du polypropylène. Le diamètre extérieur de l'étui est de 27 mm et sa longueur d'environ 135 mm. La fermeture par opercule est en polyéthylène ou polypropylène.

Quant au procédé de remplissage, l'explosif est injecté et dosé volumétriquement dans les étuis à l'aide d'une machine spécialement conçue pour la circonstance (modification du système d'injection et adaptation de la capacité du doseur).

Les premiers essais de fabrication et de faisabilité se sont déroulés avec succès et ont permis d'obtenir une bonne régularité du remplissage des étuis.

### Caractérisation de l'explosif retenu

Cette partie va traiter des tests de caractérisation que l'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques) a réalisé dans le cadre d'une démarche d'agrément et/ou d'examen CE de type de ce nouvel explosif, baptisé Irémite 1000 AS (cf. Épreuves et résultats, *encadré 1*).

Cet explosif est doté de caractéristiques détoniques très proches des valeurs obtenues par l'INERIS avec l'Irémite 1000 et l'Irémite 1000 S lors de leur agrément ; cette comparaison est synthétisée dans le *tableau III*.

L'explosif proposé, Irémite 1000 AS, est une émulsion de composition quasiment identique à celle de l'explosif Irémite 1000 S déjà agréé, dont la phase grasse et la densité ont été ajustées pour répondre aux exigences. Cet explosif est sensible au cordeau détonant 12 g/m. Il peut être conditionné sans problème particulier en cartouches de 50 g, telles que définies dans la note technique de la CNAMTS.

Ses caractéristiques de sécurité apparaissent comme supérieures à celles imposées par cette même note. Enfin, ses caractéristiques détoniques sont pratiquement identiques à celles de l'Irémite 1000 S déjà agréée.

### Étude complémentaire

L'étude principale a été complétée par quelques essais décrits ci-après.

#### Détermination de la sensibilité à l'amorçage à température ambiante et à chaud

Des tests réalisés dans la première phase des essais, il ressort que les cartouches pour tirs en masses chaudes sont sensibles au cordeau détonant de masse linéique en pentrite 12 g/m.

Les essais ont été renouvelés après un stockage d'une heure à - 20 °C, + 50 °C et + 100 °C avec du cordeau détonant 12 g/m, tel que prescrit précédemment.

Les résultats enregistrés ont été regroupés dans le *tableau IV*.

Les résultats sont positifs, quelle que soit la température comprise entre - 20 °C et + 100 °C.

#### Simulation en four avec le dispositif complet

Les essais ont été réalisés avec des tubes conformes aux spécifications de la note technique de la CNAMTS. Les deux tubes ont été fournis par la Société STIPS et

leurs caractéristiques sont jointes en *annexe III*.

Les dispositifs complets testés sont définis dans l'*annexe IV* (une seule cartouche de 50 g avec cordeau détonant 12 g/m).

La configuration retenue est décrite en *annexe V* (à noter la présence de 3 thermocouples : le premier pour la régulation, le deuxième pour l'enregistrement de la température dans le four et le troisième pour l'enregistrement de la température au cœur de la cartouche pour tir en masses chaudes).

Les résultats et les courbes température/temps sont placés en *annexe VI* :

- comportement à + 200 °C
- comportement à + 300 °C
- comportement à + 400 °C

Le *tableau V* synthétise ces résultats.

Ces derniers essais sont conformes aux prescriptions de la note technique de la CNAMTS puisque leurs résultats peuvent être résumés comme suit :

- absence d'événement pyrotechnique (dans les conditions de l'essai) dans un délai supérieur ou égal à 15 minutes à toute température inférieure ou égale à 400 °C ;
- réaction exothermique dans un délai inférieur à une heure pour une température supérieure ou égale à 400 °C.

ENCADRÉ 1

ÉPREUVES	RÉSULTATS
Épreuve CSE 3.71 P1 (SNPE n° 80) Tir d'une cartouche de diamètre 30 mm avec détonateur à 0,6 g de pentrite	3 détonations sur 3
Épreuve CSE 3.73 P3 - AFNOR NF T 70.029 - (NEF n° V715) Sensibilité à l'amorce en cartouche de diamètre 30 mm	Détonateur à 0,75 g d'azoture de plomb : 2 tirs positifs sur 2 (détonateur à 0,5 g d'azoture de plomb : tir négatif)
Épreuve CSE 1.41 Q7 - AFNOR NF T 70.025 - (NEF n° V711-A2) Vitesse de détonation en cartouche de diamètre 30 mm	4 065 m/s
Épreuve CSE 4.21 Q1 - AFNOR NF T 70.024 - (NEF n° V769) Coefficient d'auto-excitation	5 cm
Épreuve CSE 4.24 Q5 - (NEF n° V714) Diamètre critique de détonation	< 6 mm pour les deux produits testés
Épreuve CSE 1.51 R1 - AFNOR NF T 70.026 - (SNPE n° 25) Tir au mortier balistique	93

**Remarques**

♦ L'absence systématique d'explosion dans les conditions de l'essai n'exclut pas une possibilité de détonation en configuration réelle; il a été noté un effet fusant important du cordeau détonant qui, dans la réalité, aurait très bien pu amorcer le détonateur normalement présent.

♦ La quantité d'explosif a été limitée dans cette série de tests à une seule cartouche pour tirs en masses chaudes (soit 50 g de matière active) traversée par environ 140 mm de cordeau détonant 12 g/m. Une quantité plus importante d'explosif pourrait amplifier l'effet de la réaction, c'est-à-dire provoquer une explosion en masse et diminuer le temps de réaction.

## Validation par un organisme agréé

L'émulsion explosive proposée a été dénommée Irémite 1000 AS. L'INERIS a délivré pour cet explosif l'attestation d'examen CE de type N° 0080.EXP.98.0016, notamment pour les tirs en masses chaudes lorsqu'il est conditionné conformément aux exigences de la note technique de la CNAMTS.

Les fumées de tirs mesurées par l'INERIS et les caractéristiques détoniques permettent d'autoriser l'emploi de cet explosif dans la catégorie «Rocher».

### CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre au point un explosif, l'Irémite 1000 AS, répondant point pour point aux exigences de la note technique de la CNAMTS.

Toutefois, le résultat le plus tangible de l'étude devrait être la mise en fabrication et la distribution d'une chaîne pyrotechnique pour les tirs en masses chaudes validée et plus sûre, surtout en cas de ratés de tirs.

Rappelons qu'une formation et une information adaptées du personnel, une maintenance de tout le matériel mis en œuvre, 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.

TABLEAU III

ÉPREUVES CSE	IRÉMITE 1000 AS POUR TIRS EN MASSES CHAUDES	IRÉMITE 1000 S (RÉSULTATS DES ÉPREUVES D'AGREMENT DE L'INERIS)
3.71 P1	3 / 3	3 / 3 (Irémite 1000)
3.73 P3	Détonateur 0,75 g d'azoture de plomb (étui aluminium)	Détonateur 1 g d'azoture de plomb (étui cuivre étamé)
1.41 Q7	4 065 m/s <sup>(1)</sup>	4 620 - 4 680 m/s
4.21 Q1	5 cm	5,5 cm
4.24 Q5	≤ 6 mm	≤ 24 mm (diamètres inférieurs non testés)
1.51 R1	93	95 (Irémite 1000)

<sup>(1)</sup> La vitesse de détonation en non confiné est logiquement moins élevée que celle des explosifs agréés Irémite 1000 et Irémite 1000 S, du fait de la densité plus faible de l'explosif.

TABLEAU IV

TEMPÉRATURE	- 20 °C	+ 50 °C	+ 100 °C
Résultat au test de sensibilité au cordeau détonant 12 g/m	2 tirs positifs sur 2	2 tirs positifs sur 2	2 tirs positifs sur 2

TABLEAU V

TEMPÉRATURE	ENREGISTREMENT DES TEMPÉRATURES	TEMPS DE RÉACTION	RÉACTION OBSERVÉE
+ 200 °C	oui (cf. annexe VI a)	70 minutes	Réaction exothermique sans explosion ni effet sonore (température maximum ≈ 680 °C)
+ 300 °C	oui (cf. annexe VI b)	t1 = 34 minutes t2 = 47 minutes	Réaction exothermique sans explosion ni effet sonore, en deux temps : pic de température ≈ 540 °C 2 <sup>e</sup> réaction : température maximum ≈ 450 °C
+ 400 °C	1) non (déficiency du système d'acquisition)	≈ 25 minutes	Réaction exothermique sans explosion ni effet sonore : apparition de fumées blanches
	2) oui (cf. annexe VI c)	21 minutes	Réaction exothermique sans explosion ni effet sonore : température maximum ≈ 600 °C

## BIBLIOGRAPHIE

1. GROS P. - Techniques de sécurité relatives aux tirs en masses chaudes. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1980, 101, pp. 551-557.
  2. BLANC J.P., GROS P. - Techniques de sécurité relatives aux tirs en masses chaudes. Étude des composants et de la procédure de tir. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1983, 112, pp. 353-364.
  3. Commission des substances explosives (CSE) - Recueil d'épreuves d'agrément des produits explosifs du Ministère de l'Industrie, approuvé par arrêté ministériel du 31 juillet 1980. Paris, ministère de l'Industrie, 1980.
  4. Note technique CRAM N° 1/93 - Sécurité du personnel lors des tirs à l'aide d'explosifs en masses chaudes - approuvée par les Comités techniques régionaux n° 1, 2, 3 et 4 au cours de leurs réunions des 12, 14, 19 et 21 octobre 1993. Nancy, *Recommandation de la CRAM Nord-Est*, 1993.
  5. Note technique adoptée par les Comités techniques nationaux des industries chimiques et des industries du bâtiment et des travaux publics lors de leurs réunions respectives des 14 et 15 novembre 1995 - Sécurité du personnel lors des tirs à l'aide d'explosifs en masses chaudes. Paris, CNAMTS / INRS, 1996.
- PV n° 26/98/VG/CI du 08.09.98 - Document confidentiel intitulé « Mise au point d'une chaîne pyrotechnique pour tirs en masses chaudes » 1<sup>ère</sup> phase des travaux de la convention n° 5982374 INRS/NEF. *Vonges, Nobel Explosifs - Groupe SNPE*, 1998.
- PV n° 54/98/VG/NP du 11.12.98 - Document confidentiel intitulé « Mise au point d'une chaîne pyrotechnique pour tirs en masses chaudes » 2<sup>ème</sup> phase des travaux de la convention n° 5982374 INRS/NEF. *Vonges, Nobel Explosifs - Groupe SNPE*, 1998.
- Utilisation des explosifs - Guide d'informations. Paris, *Synduex*, 2000.

## 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

## SFEPa

Syndicat des fabricants d'explosifs et de produits accessoires  
Le Diamant A  
92909 Paris la Défense cedex  
Tél. 01 46 53 11 92

## 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

## SYNDUEX

Syndicat national des entrepreneurs de travaux publics spécialisés dans l'utilisation d'explosifs  
36 rue de Berri  
75008 Paris  
Tél. 01 41 13 31 86

## ANNEXE I

## SÉCURITÉ DU PERSONNEL LORS DES TIRS À L'AIDE D'EXPLOSIFS, EN MASSES CHAUDES

### - SAFETY OF PERSONNEL DURING HOT MASS BLASTING

*Note technique adoptée par les Comités techniques nationaux des industries chimiques et des industries du bâtiment et des travaux publics lors de leurs réunions respectives des 14 et 15 novembre 1995.*

*TECHNICAL NOTE ADOPTED BY THE NATIONAL TECHNICAL COMMITTEES OF THE CHEMICAL INDUSTRIES AND THE CONSTRUCTION INDUSTRIES AT THEIR RESPECTIVE MEETINGS OF 14 AND 15 NOVEMBER 1995*

Dans la pratique industrielle, il peut se créer des 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 refroidir.

### 1. CHAMP D'APPLICATION

En complément des textes réglementaires, les chefs d'entreprise, dont tout ou partie du personnel relève du régime général de la Sécurité sociale, qui procèdent ou font procéder, même à titre secondaire ou occasionnel, à des tirs à l'explosif en masses chaudes, sont invités à respecter les mesures figurant dans la présente note technique.

## 2. DÉFINITION

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

## 3. CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAÎNE PYROTECHNIQUE

### 3.1. Explosif

Les chefs d'entreprise et les maîtres d'œuvre devront 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 » devra 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 devra 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 » devra faire apparaître une hauteur de non propagation de réaction violente supérieure ou égale à 4 mètres.
- La cartouche doit être amorçable au cordeau détonant, placé dans son canal axial.
- La cartouche unitaire sera de 50 g et aura un diamètre externe de 28 mm.

- La date de fabrication sera 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.

### 3.2. Cordeau détonant

Le cordeau détonant à utiliser sera celui préconisé par le fabricant des cartouches.

### 3.3. Détonateurs électriques

Les détonateurs électriques seront du type haute intensité.

### 3.4. Engins électriques de mise à feu

L'appareil de mise à feu doit être d'un type certifié.

### 3.5. Ligne de tir

La ligne de tir devra être constituée de câble en cuivre préconisé par les fabricants d'explosifs, sans raccord ni épissure.

### 3.6. Vérifications

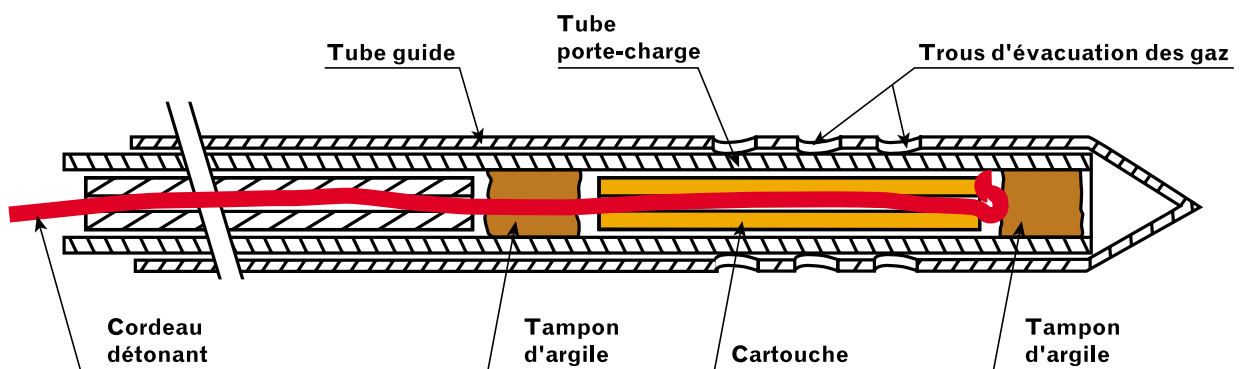
L'entreprise de tir doit vérifier l'état du matériel et son bon fonctionnement avant que l'équipe de tir se rende sur le chantier. La réalité de cette vérification sera portée au plan de prévention.

La vérification de la ligne de tir et des détonateurs sera faite avec un ohmmètre certifié.

## 4. DISPOSITIFS DE PROTECTION MÉCANIQUE ET THERMIQUE

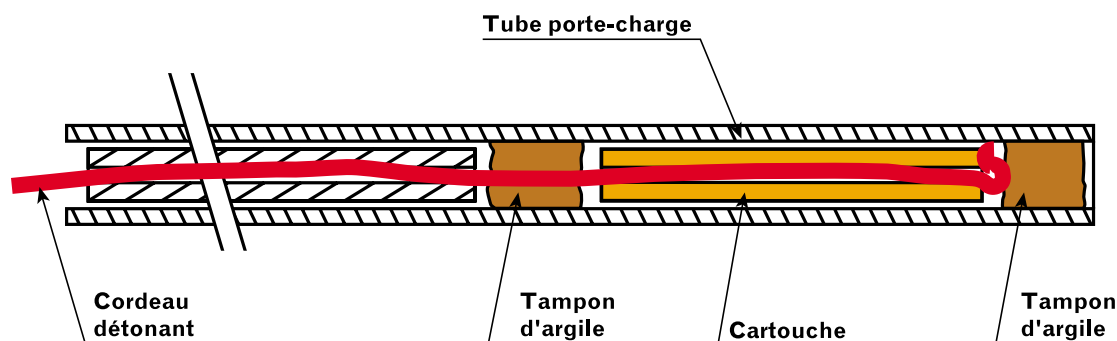
4.1. Pour les tirs s'effectuant dans des masses instables ou molles, il peut être nécessaire d'utiliser un tube guide en acier de diamètre intérieur de 48 mm minimum et de diamètre extérieur de 50 mm maximum muni d'un cône de pénétration.

Ce tube sera percé, au niveau de la charge d'explosif, de trous pour assurer l'évacuation de l'air contenu dans le tube.



**Fig. 1. ENSEMBLE TUBES GUIDE ET PORTE-CHARGE**  
Pour les tirs s'effectuant dans des masses instables ou molles

## ANNEXE I (SUITE)

SÉCURITÉ DU PERSONNEL LORS DES TIRS À L'AIDE D'EXPLOSIFS, EN MASSES CHAUDES  
- SAFETY OF PERSONNEL DURING HOT MASS BLASTING

**Fig. 2. ENSEMBLE TUBES GUIDE ET PORTE-CHARGE**  
Pour les tirs autres que ceux mentionnés dans la figure 1

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

Le tube carton devra dépasser d'au moins 30 cm de la surface chaude de façon que le détonateur soit au-dessus de la masse chaude.

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

Si la température du trou est inférieure à 400 °C, le tube porte charge carton comportera un dispositif simple, réalisé par l'artificier conformément au plan de prévention, permettant en cas de raté de tir l'extraction du tube et de son contenu, dans un délai maximum de 2 minutes.

Ce tube carton devra être d'un type permettant à son diamètre intérieur de rester intact après une épreuve l'exposant à 800 °C pendant une minute.

## 5. CONSIGNES GÉNÉRALES DE MISE EN ŒUVRE

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

#### 5.1.1. Réunion d'ouverture du chantier

Le chantier est constitué de la zone de préparation des charges et de la zone de tir.

Avant le début des travaux et à l'initiative

du chef de l'entreprise utilisatrice, les employeurs intéressés définissent en commun les mesures à prendre par chacun d'eux en vue d'éviter les risques professionnels.

Cette concertation sera concrétisée par un plan de prévention écrit, incluant le plan de tir, quel que soit le nombre d'heures de travail prévisible.

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

5.1.3. 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 auront été définis au plan de prévention.

5.1.4. Le maître d'ouvrage positionnera un poste de tir à proximité de la zone de tir, pour mettre le boutefeux en sécurité.

5.1.5. Un affichage indiquera le code des signaux sonores définis au plan de prévention. Cet affichage devra être normalement lisible à dix mètres au moins.

### 5.2. Mise en œuvre du tir

5.2.1. Normalement, on procédera au chargement et à l'exécution d'un seul coup de mine à la fois.

5.2.2. Exceptionnellement, si cela est nécessaire pour l'efficacité de l'opération, on pourra procéder à des tirs de 4 coups maximum si la température est comprise entre 50 et 400 °C et de 2 coups maximum si la température est comprise entre 400 et 800 °C. Il faudra alors 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.
- la vérification et le traitement des ratés de tir, par le responsable du tir, respectent les instructions des paragraphes 5.3.3 et 5.3.4.

5.2.3. Il est interdit de procéder à un tir si la température à l'intérieur du trou de mine excède 1 600 °C.



## ANNEXE I (SUITE)

### 5.2.4. Chronologie des opérations

Cette procédure 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.
- 3 ● Approvisionnement sur le chantier de la quantité d'explosif et d'artifices de tir strictement nécessaires aux tirs d'une journée de travail depuis le dépôt d'explosifs permanent ou temporaire.
- 4 ● Aménagement du poste de tir.
- 5 ● Percement des trous de mine.
- 6 ● Mesure de la température de contact en fond de trou.
- 7 ● Mise en place du (ou des) tube(s) guide(s) en acier, si nécessaire.
- 8 ● Mise en place du (ou des) dispositif(s) d'extraction.
- 9 ● Mise en place des protections contre les projections de tirs.
- 10 ● Sondage des trous de mine à l'aide d'un tube carton vide identique au tube porte charge et essai d'extraction du tube porte charge factice.
- 11 ● Mise en place de la ligne de tir.
- 12 ● Vérification de la ligne de tir ouverte puis court-circuitage de celle-ci au poste de tir.
- 13 ● Vérification de l'appareil de mise à feu et retrait du dispositif amovible de commande de la mise à feu qui sera conservé par le boute-feu.
- 14 ● Vérification du (ou des) cordeau(x) détonant(s) : état et longueur d'un seul tenant.
- 15 ● Préparation du (ou des) tube(s) porte charge en carton :
  - garnir le fond,
  - introduire le chapelet de charge,
  - court-circuiter les fils de détonateur,
  - relier le détonateur au cordeau détonant et abriter le détonateur dans le tube.
- 16 ● Accrochage du (ou des) tube(s) porte charge à son (leur) dispositif d'extraction.
- 17 ● Mise en place des vigies aux accès du chantier.
- 18 ● Signal d'évacuation de la zone dangereuse, signal de type 1 défini au plan de prévention.
- 19 ● Vérification de la désertion du site hormis le personnel nécessaire à la mise à feu de la (des) charge(s).
- 20 ● Raccordement de la ligne de tir au(x) détonateur(s).
- 21 ● Vérification du circuit de tir (ligne de tir raccordée au(x) détonateur(s)).

22 ● Mise en place du (ou des) tube(s) porte charge en carton amorcé(s) 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 ● Avertissement de l'imminence du tir par un signal de type 2 défini au plan de prévention.

26 ● Raccordement de la ligne de tir à l'appareil de mise à feu.

27 ● TIR.

### 5.3. Vérification et cas de raté de tir

Remarque importante : les explosifs retirés des tirs ratés ne seront pas réutilisés. Ils seront évacués dans les conditions prévues au plan de prévention ou consignes de tir, pour destruction par l'entreprise de minage.

#### 5.3.1. Cas d'une seule charge, température inférieure à 400 °C

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.

Le coup de mine n'a pas été perçu :

- avant que deux minutes ne se soient écoulées depuis la mise en place de la charge, le boute-feu extrait la charge et la désamorçe ;
- reprendre les opérations à partir de 5.2.4. - 14.

#### 5.3.2. Cas d'une seule charge, température supérieure à 400 °C

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.

Le coup de mine n'a pas été perçu :

- attendre la manifestation d'auto-destruction de l'explosif
- repartir à partir de 5.2.4. - 14.

#### 5.3.3. Cas de plusieurs charges, température inférieure à 400 °C

Le coup de mine a été perçu :

- vérifier le tir, extraire les charges non explosées dans le délai de deux minutes et les désamorcer,

- reprendre les opérations à partir de 5.2.4. - 14,

- si toutes les charges ont explosé, avertir de la fin du tir par le signal de type 3 défini au plan de prévention.

Le coup de mine n'a pas été perçu :

- extraire toutes les charges dans le délai de deux minutes et les désamorcer,
- reprendre à partir de 5.2.4. - 14.

#### 5.3.4. Cas de plusieurs charges, température supérieure à 400 °C

Que des coups de mine aient été entendus ou non, attendre une heure avant de vérifier le résultat du tir et reprendre à partir de 5.2.4. - 14.

## 6. QUALIFICATION DU PERSONNEL

Le tir, le maniement et l'emploi des explosifs et des artifices de mise à feu ne doivent être confiés qu'à des préposés titulaires d'un certificat d'aptitude au minage (dénomination avant 1976) ou d'un certificat de préposé au tir. Ils sont complétés dans les deux cas par une attestation de formation de tir en masses chaudes délivrée par leur employeur à la suite d'une expérience suffisante d'aide artificier.

De plus, l'artificier devra être en possession d'un permis de tir établi par son employeur et annexé au plan de prévention.

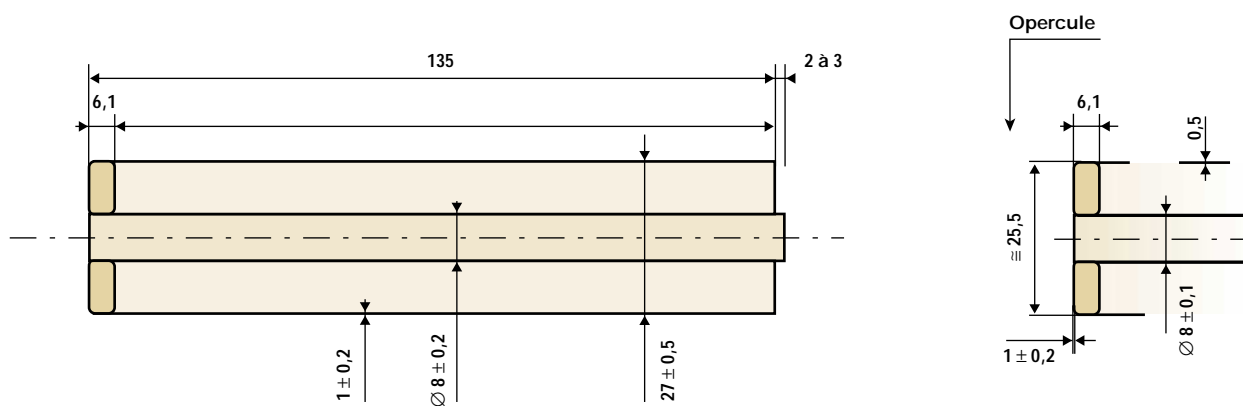
À l'ouverture de chaque chantier, un responsable de tir commentera les consignes générales de mise en œuvre (§ 5 de la présente recommandation).

## 7. FORMATION

Cette formation sera assurée conformément à un programme établi dans le respect de la présente recommandation. Le Synduex (1) élaborera ce programme.

(1) Synduex : Syndicat national des entrepreneurs de travaux publics spécialisés dans l'utilisation d'explosifs  
3 rue de Berri, 75008 PARIS - Tél. 01 41 13 31 86.

## ANNEXE II

ETUIS POUR CARTOUCHES  
- CARTRIDGE CASE

Matière : polypropylène

## ANNEXE III

TUBES CARTONS POUR TIRS EN MASSES CHAUDES  
- CARDBOARD TUBES FOR HOT MASS BLASTING

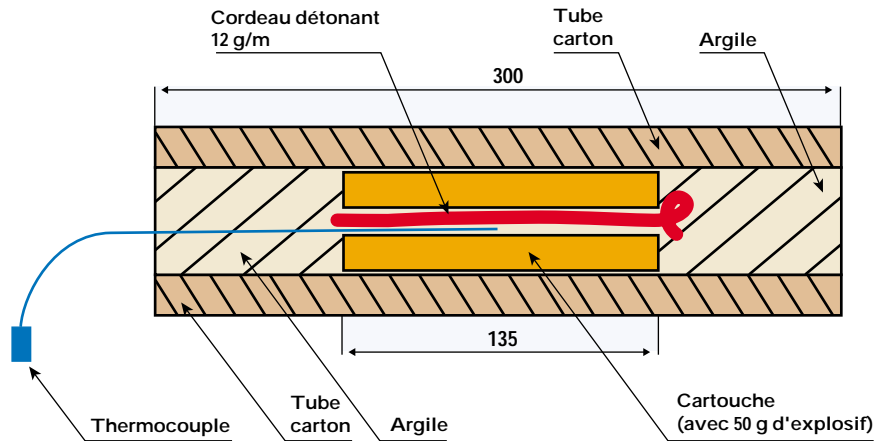
NUMÉRO	MASSE LINÉIQUE (g/m)	DIAMÈTRE intérieur (cm)	DIAMÈTRE extérieur (cm)
1	321,6	2,965	3,985
2	319,9	2,935	3,995
3	321,8	2,995	3,965
4	328,6	3,040	4,005
5	328,5	3,000	3,965
6	328,3	3,005	3,980
7	322,4	3,040	3,995
8	325,2	3,000	4,000
9	329,7	3,010	3,980
10	328,4	3,035	4,010
Moyenne	325,4	3,003	3,988

Fournisseur : Sté STIPS

## ANNEXE IV

### SCHÉMA TUBE CARTON + CARTOUCHE POUR TIRS EN MASSES CHAUDES

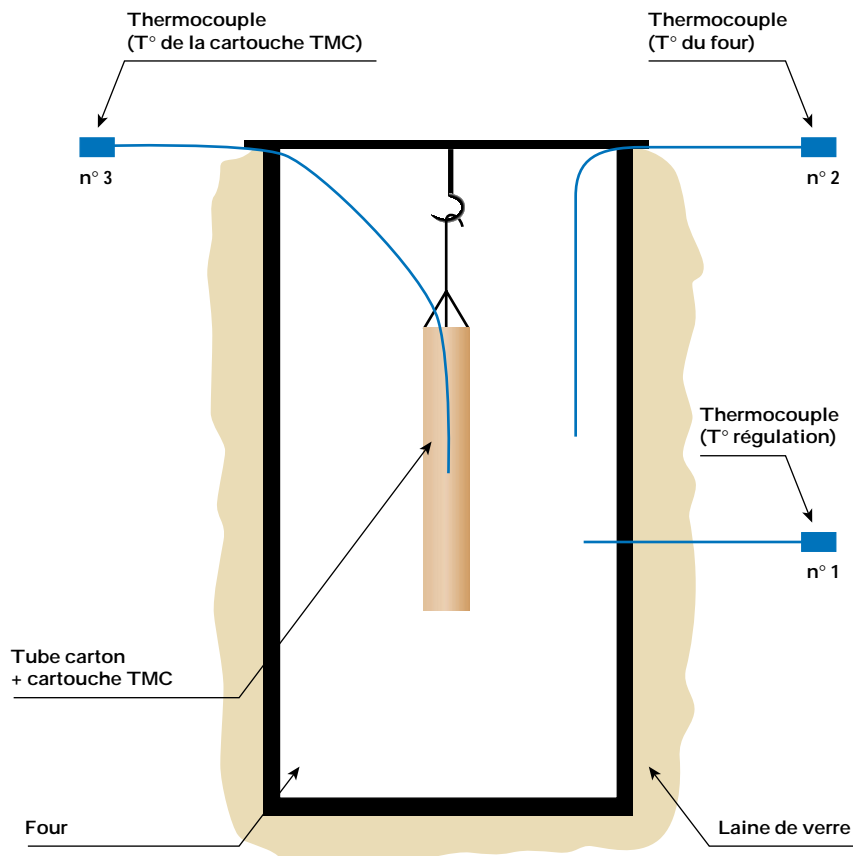
- DIAGRAM OF CARDBOARD TUBE + CARTRIDGE FOR HOT MASS BLASTING



## ANNEXE V

### SCHÉMA DU FOUR COMPLET

- DIAGRAM OF COMPLETE FURNACE



## ANNEXE VI

## RÉSULTATS DES ESSAIS COOK-OFF SUR CARTOUCHE POUR TIRS EN MASSES CHAUDES

### - RESULTS OF COOK-OFF TESTS ON CARTRIDGE FOR HOT MASS BLASTING

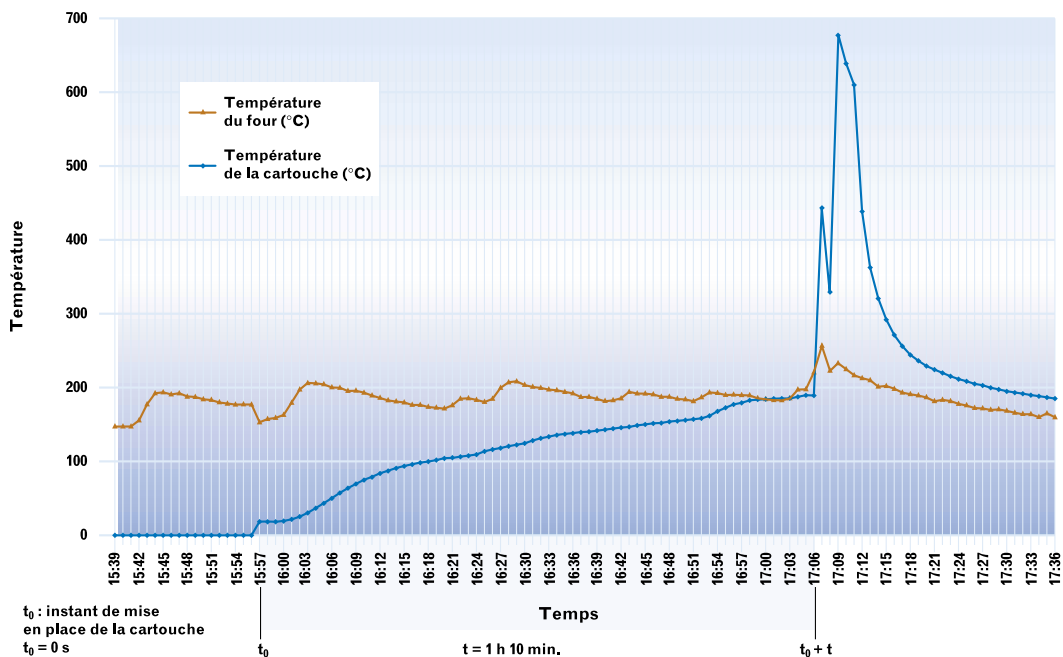
#### Vla

##### ESSAI A 200 °C Température (°C) = f (Temps)

Réaction au bout de 1 h 10 min.

- Tube carton brûlé avec un point calciné dans sa partie supérieure au niveau du cordeau détonant.

- Cartouche complètement brûlée. Présence de quelques résidus fondus.



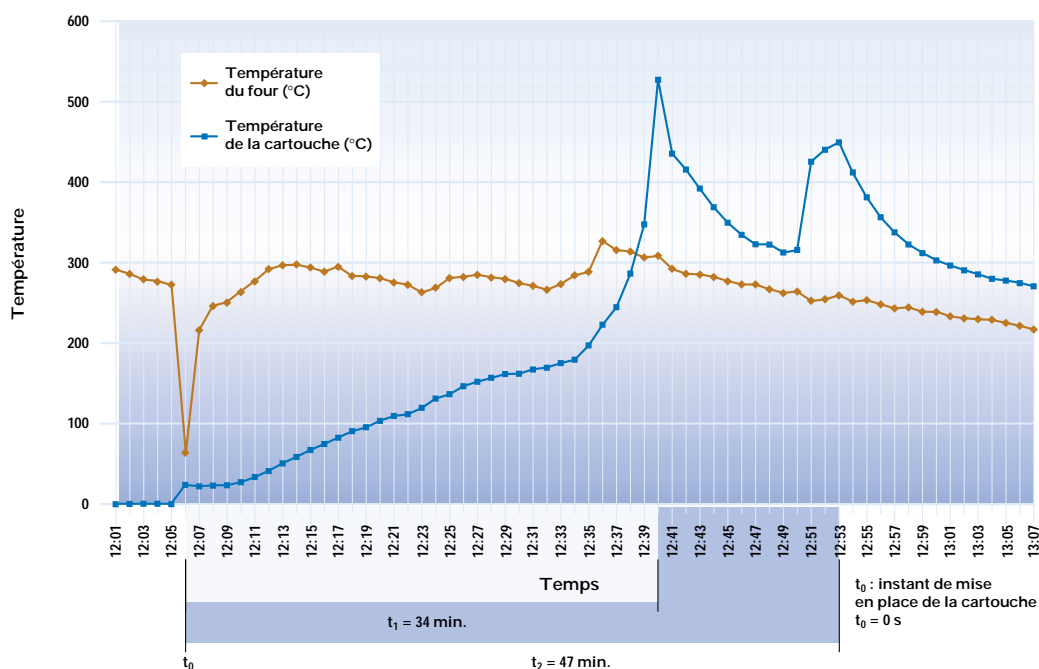
#### Vlb

##### ESSAI A 300 °C Température (°C) = f (Temps)

Réaction au bout de 34 min.

- Tube carton brûlé avec perforation en haut du tube, très fragile et cassant ; effet de fusée, combustion de la cartouche ; résidu vert foncé de cordeau détonant.

- Cartouche brûlée.



## ANNEXE VI (SUITE)

## RÉSULTATS DES ESSAIS COOK-OFF SUR CARTOUCHE POUR TIRS EN MASSES CHAUDES

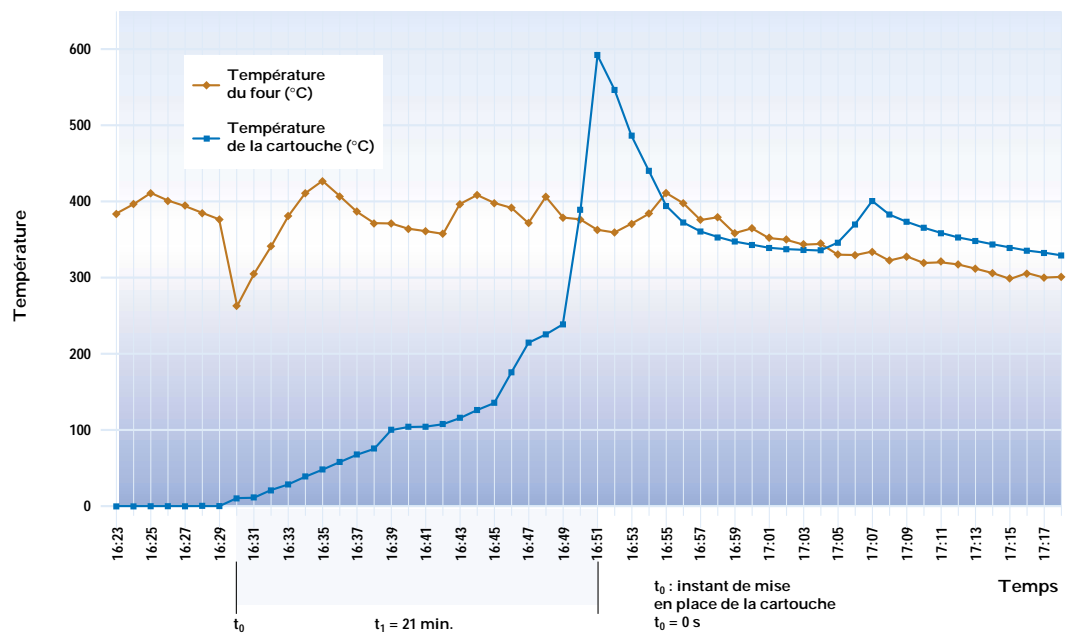
- RESULTS OF COOK-OFF TESTS ON CARTRIDGE FOR HOT MASS BLASTING

## VIc

ESSAI À 400 °C Température (°C) = f (Temps)

Réaction au bout de 21 min.

- Tube carton brûlé avec perforation en haut du tube.
- Résidu vert foncé fondu de cordeau détonant.
- Cartouche brûlée.



**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14**

Tiré à part de *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 4<sup>e</sup> trimestre 2001, n° 185 - ND 2159 - 1200 ex.  
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-1054-8

**Imprimerie de Montligeon - 61400 La Chapelle Montligeon**