



CHIMIE DE BASE DES EXPLOSIFS ET RISQUES ASSOCIÉS AUX EXPLOSIFS ARTISANAUX ET À LEURS PRÉCURSEURS CHIMIQUES

GUIDE

Image de couverture: Charges principales d'un engin explosif improvisé remplies d'un explosif artisanal inconnu en Irak (source: Fondation Suisse de Déminage FSD ©)

Le GICHD s'emploie à réduire les risques auxquels sont exposées les populations du fait de la présence d'engins explosifs, notamment des mines terrestres, des armes à sous-munitions et des stocks de munitions.

Il aide les autorités nationales et internationales, les organisations régionales, les ONG et les opérateurs commerciaux à mettre en place et professionnaliser la lutte antimines et la gestion des munitions. Le GICHD aide chaque année quelque 40 États et territoires touchés.

Basé à la Maison de la paix à Genève, le GICHD compte près de 80 employés de plus de 26 nationalités différentes, ce qui en fait un centre de connaissances et d'expertise international au caractère unique. Le Centre mène à bien sa mission grâce aux contributions de base, aux financements en faveur de projets et au soutien en nature versés par plus de 30 gouvernements et organisations.

Le ministère allemand des Affaires étrangères a contribué financièrement à l'élaboration de ce guide. Les idées, les opinions et les commentaires qui y figurent relèvent entièrement de la responsabilité de ses auteurs et ne représentent ou ne reflètent pas nécessairement la politique d'aide de la Suisse ou de l'Allemagne.

Ce guide a été élaboré avec le concours du Commandement défense CBRN de la Bundeswehr, de Conflict Armament Research et de la Fondation Suisse de Déminage.

Il a été préparé par Robert Friedel, conseiller du GICHD. La revue technique a été effectuée par Brimstone Consultancy Limited.

Le présent guide contient des informations recueillies auprès de sources reconnues et dignes de confiance. Des efforts raisonnables ont été déployés pour inclure des données et des informations fiables mais le GICHD ne saurait être tenu pour responsable de leur validité ou des conséquences de leur utilisation. Le GICHD s'est employé à retrouver les détenteurs des droits d'auteur de toute la documentation reproduite dans ce guide et leur présente ses excuses si l'autorisation de publier sous cette forme n'a pas été obtenue. Si un matériel protégé par le droit d'auteur n'a pas été dûment reconnu, veuillez-nous en informer par écrit pour que nous puissions remédier aux omissions éventuelles dans une prochaine édition.

CENTRE INTERNATIONAL DE DÉMINAGE HUMANITAIRE DE GENÈVE

Guide de bonnes pratiques pour la neutralisation des engins explosifs improvisés, GICHD, Genève, 2021

© GICHD

Le contenu de cette publication, sa présentation et les appellations employées n'impliquent de la part du GICHD aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires ou groupes armés, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Tout le contenu demeure sous l'entière responsabilité du GICHD.

**CHIMIE DE BASE DES
EXPLOSIFS ET RISQUES
ASSOCIÉS AUX EXPLOSIFS
ARTISANAUX ET À LEURS
PRÉCURSEURS CHIMIQUES**

TABLE DES MATIÈRES

1. Introduction	8
1.1. Domaine d'application	9
2. Matières explosives	11
2.1. Considérations relatives aux explosifs	11
2.1.1. Classification des explosifs selon leur composition	11
2.1.2. Classification des explosifs en fonction de leur utilisation	13
2.2. Considérations relatives aux explosifs artisanaux	15
2.2.1. Explosifs artisanaux: notions de base	15
2.2.2. Risques liés aux explosifs artisanaux	15
2.2.3. Facteurs influant sur la production, la sécurité, la fiabilité et la performance des explosifs artisanaux	16
2.3. Comparaison entre explosifs de fabrication industrielle et explosifs artisanaux	18
2.3.1. Fabrication industrielle	19
2.3.2. Fabrication improvisée	19
3. Principes physiques et chimiques concernant les caractéristiques des explosifs	25
3.1. Classification des explosifs	25
3.1.1. Explosifs brisants	26
3.1.2. Explosifs déflagrants ou propulseurs	30
3.1.3. Produits pyrotechniques	32
3.2. Réactions explosives	32
3.2.1. Combustion	33
3.2.2. Déflagration	33
3.2.3. Détonation	34
3.2.4. Transition combustion–déflagration–détonation	35
3.3. Caractéristiques physiques des explosifs	36
3.3.1. Brisance	36
3.3.2. Stabilité	37
3.3.3. Intensité	37
3.3.4. Sensibilité et réactivité	37
3.3.5. Bilan oxygène	41
3.3.6. Confinement	42
3.3.7. Considérations relatives aux caractéristiques physiques des explosifs artisanaux	43

4. Précurseurs chimiques	44
4.1. Paramètres physiques : notions de base	49
4.2. Acides	52
4.3. Oxydants	63
4.3.1. Groupe des nitrates	64
4.3.2. Groupe des chlorates	72
4.3.3. Groupe des perchlorates	77
4.3.4. Autres oxydants	80
4.4. Combustibles	87
4.4.1. Combustibles liquides	89
4.4.2. Combustibles solides	103
4.4.3. Combustibles métalliques	112
4.5. Additifs et catalyseurs	118
4.5.1. Renforçateurs et amadou	118
4.5.2. Catalyseurs, réactifs, liants et flegmatissants	122
4.6. Effets du vieillissement	145
5. Explosifs artisanaux	150
5.1. Explosifs artisanaux à base de chlorates et de perchlorates	152
5.1.1. Explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium	153
5.1.2. Explosifs artisanaux à base de chlorate de sodium	158
5.1.3. Explosifs artisanaux à base de perchlorate d'ammonium	160
5.1.4. Explosifs artisanaux à base de perchlorate de potassium	162
5.2. Explosifs artisanaux à base de nitrates	163
5.2.1. Explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium	163
5.2.2. Artisanaux à base de nitrate d'ammonium et de calcium (can)	175
5.2.3. Explosifs artisanaux à base de nitrate de méthyle	176
5.2.4. Explosifs artisanaux à base de nitrate d'urée	177
5.3. Explosifs artisanaux à base de peroxydes	182
5.3.1. Peroxyde d'hydrogène concentré	182
5.3.2. Peroxyde d'acétone	184
5.3.3. Hexaméthylène triperoxyde diamine	186
5.3.4. Peroxyde de méthyléthylcétone	186
5.4. Explosifs artisanaux à base de nitrométhane	188
5.5. Explosifs artisanaux à base d'esters de nitrate	190
6. Réactions gazogènes	195

7. Engins incendiaires improvisés	197
7.1. Engins incendiaires improvisés : notions de base	197
7.2. Compositions incendiaires improvisées	198
7.3. Allumeurs chimiques improvisés	200
8. Produits pyrotechniques improvisés	201
8.1. Produits pyrotechniques improvisés : notions de base	201
8.2. Effets sonores et lumineux	204
8.3. Effets de couleur	205
8.4. Effets de fumée	206
9. Explosifs primaires improvisés	207
9.1. Explosifs primaires improvisés : notions de base	207
9.2. Exemples d'explosifs primaires improvisés	210
10. Considérations générales de sécurité	216
10.1. Règles et mesures de sécurité élémentaires	216
10.1.1. Mesures de sécurité	216
10.1.2. Hygiène et sécurité sur le lieu de travail	220
10.2. Équipements de protection individuelle et équipements à sécurité intrinsèque	221
10.2.1. Recours aux epi et aux équipements à sécurité intrinsèque	221
10.2.2. Considérations relatives aux epi spécifiques	223
10.3. Stockage temporaire des explosifs artisanaux et des substances chimiques	226
10.3.1. Considérations générales sur le stockage temporaire des explosifs artisanaux et des substances chimiques	226
10.3.2. Considérations relatives au stockage des substances chimiques	229
10.3.3. Mesures structurelles, techniques et organisationnelles	231
10.3.4. Séparation spatiale	235
10.4. Lutte contre les incendies	236
10.4.1. Mesure de sécurité	236
10.4.2. Extincteurs portables	237
11. Conclusion	239
12. Acronymes et abréviations	241
13. Glossaire	243
14. Liste des explosifs artisanaux et substances chimiques	247
15. Bibliographie	250
16. Autres références	252

1. INTRODUCTION

Le recours généralisé aux engins explosifs improvisés (EEI) a largement été documenté par le secteur de l'action contre les mines ces dix dernières années¹. Cette tendance est associée à l'utilisation d'explosifs artisanaux. Bien que les EEI ne contiennent pas tous des composants d'explosifs artisanaux, la fréquence de leur utilisation et les défis opérationnels spécifiques liés aux explosifs artisanaux et à leurs précurseurs chimiques ont mis en lumière la nécessité de documenter les bonnes pratiques relatives à cette catégorie d'explosifs moins connue.

L'importance d'aborder le problème des explosifs artisanaux est claire. Ils représentent une menace pour la vie humaine et l'environnement. Il est assez probable que le personnel de l'action contre les mines rencontre des explosifs artisanaux dans les pays sinistrés, que ce soit dans des EEI, des sites de stockage ou de fabrication désaffectés, ou des stocks de précurseurs chimiques utilisés dans divers secteurs d'activité. L'ampleur de l'impact des explosifs artisanaux, associée à une forte probabilité de les rencontrer dans certains contextes, a étayé la décision d'élaborer des directives spécialement consacrées aux explosifs artisanaux.

Compte tenu des risques encourus par ceux qui rencontrent des explosifs artisanaux et pourraient interagir avec ces engins, le GICHD a élaboré le chapitre 5 du Guide de bonnes pratiques pour la neutralisation des engins explosifs improvisés dans le but de renforcer en priorité la sécurité du personnel de l'action contre les mines, mais également de veiller à ce que les programmes de l'action contre les mines traitent efficacement cette menace particulière afin de protéger les communautés contre leurs effets. Ces directives constituent par conséquent un élément important des connaissances nécessaires à l'action contre les mines pour mener des opérations de fouille et d'élimination dans le cadre du processus de neutralisation des EEI dans les zones concernées.

Aux fins du présent chapitre, notre objectif était de présenter des informations sur les explosifs artisanaux qui permettent de mieux comprendre les substances utilisées, notamment: les matières premières qui composent les explosifs artisanaux; la capacité à reconnaître leur présence; les caractéristiques physiques et chimiques des explosifs artisanaux; leur potentiel à générer des risques non explosifs tels que la toxicité; et les considérations de sécurité pour le personnel de l'action contre les mines susceptible de rencontrer des explosifs artisanaux (par exemple les équipements de protection individuelle).

Afin d'étayer et de renforcer les connaissances sur les explosifs artisanaux et leurs précurseurs chimiques dans le secteur de l'action contre les mines, cette publication présente une grande diversité d'explosifs artisanaux susceptibles d'être rencontrés dans des contextes opérationnels, et de compositions chimiques utilisées dans la chaîne de mise à feu. Au-delà de l'examen des groupes d'explosifs artisanaux les plus courants (chlorates, perchlorates, nitrates et peroxydes), ce chapitre présente des informations détaillées sur les mélanges mais aussi les produits pyrotechniques improvisés les moins fréquemment rencontrés, les compositions incendiaires improvisées et les explosifs primaires improvisés.

Ce chapitre n'est ni une publication de recherche ni un manuel technique exhaustif; il vise plutôt à fournir des informations succinctes faciles à lire. Des aides visuelles et des images de ces compositions chimiques sont présentées tout au long du chapitre afin de consolider les connaissances. Le contenu a été choisi pour fournir des connaissances pratiques aux intervenants de l'action contre les mines, en fonction des menaces que posent les explosifs artisanaux auxquelles ils seront le plus souvent confrontés. Les connaissances théoriques sur la chimie de base des explosifs et de leurs précurseurs chimiques constituent le socle du présent document. Les informations scientifiques détaillées, comme les équations et les formules complexes, ont été évitées. Les définitions et les calculs ont par ailleurs été simplifiés afin de fournir aux utilisateurs finaux uniquement les informations les plus essentielles.

¹ Le total toujours plus élevé enregistré depuis 2014 est principalement attribuable au grand nombre de victimes enregistré dans des pays en proie à des conflits armés intenses et impliquant l'utilisation à grande échelle de mines improvisées (Landmine Monitor 2020, <http://the-monitor.org/media/3168934/LM2020.pdf>). Si leur utilisation par les États a quasiment pris fin à l'échelle mondiale, nombre de mines antipersonnel, en particulier improvisées, continuent d'être disséminées par des groupes armés non étatiques, notamment en Afghanistan, en Colombie, au Nigeria, au Yémen, dans plusieurs pays du Sahel, et ailleurs. (Clearing the Mines 2021, Mine Action Review, https://www.mineactionreview.org/assets/downloads/3644_NPA_Clearing_the_Mines_2021.pdf)

Nous espérons que les informations techniques présentées dans ce chapitre constitueront une ressource opérationnelle utile qui permettra au personnel de l'action contre les mines de répondre à ses besoins essentiels pour identifier et évaluer leur comportement chimique, ainsi que les risques inhérents aux dangers non explosifs. Des informations techniques fiables et accessibles constituent par ailleurs le fondement des normes nationales de qualité, des procédures opérationnelles et des documents d'orientation. Nous espérons par conséquent que ce chapitre s'avérera également utile dans le cadre de l'élaboration des procédures nécessaires aux programmes de l'action contre les mines pour lutter contre ces engins explosifs improvisés.

1.1. DOMAINE D'APPLICATION

Le chapitre 5 du Guide de bonnes pratiques pour la neutralisation des EEI, intitulé *Chimie de base des explosifs et risques associés aux explosifs artisanaux et à leurs précurseurs chimiques*, s'adresse au personnel de l'action contre les mines formé conformément aux Normes internationales de l'action contre les mines (NILAM) 09.31 «Neutralisation des engins explosifs improvisés» et 09.13 «Dépollution des bâtiments». Il devrait être utile pour les opérateurs chargés de l'élimination des EEI à des fins humanitaires mais également le personnel de l'action contre les mines impliqué dans la planification, l'exécution, le contrôle et le suivi des opérations de neutralisation des EEI.

Cette publication vise également à éclairer les acteurs de l'aide humanitaire, les intervenants humanitaires de première ligne et les professionnels chargés de sensibiliser aux risques que représentent les engins explosifs sur l'élaboration de méthodes, d'approches et d'outils spécifiques aux environnements abritant des explosifs artisanaux et leurs précurseurs chimiques.

Dans cette publication, la terminologie et les définitions sont présentées de manière à être utilisables et accessibles pour l'usage quotidien d'une organisation d'action contre les mines. Le lecteur doit savoir que les données relatives aux propriétés chimiques et physiques utilisées dans le présent chapitre proviennent d'essais effectués en laboratoire où les conditions expérimentales nécessaires aux mesures existent. Dans ces circonstances, les paramètres tels que le ratio oxydant-combustible ou la granulométrie seraient connus. En situation réelle, ces variables sont inconnues, notamment la dégradation des compositions avec le temps, et c'est la raison pour laquelle les propriétés chimiques et physiques d'un explosif artisanal peuvent être très variables.

Ce chapitre ne fournit pas de directives détaillées sur le processus de fabrication des explosifs artisanaux, la flegmatisation² ou les procédures d'élimination.



MENTIONS LÉGALES

Cette publication est distribuée en vue de son utilisation par la communauté de l'action contre les mines. Elle s'aligne sur la série de NILAM ; elle est susceptible d'être modifiée sans préavis et ne peut être renvoyée à une norme internationale.

Les destinataires du présent document sont priés de soumettre, avec leurs observations, une notification de tout droit pertinent conféré à un brevet dont ils sont au courant et de fournir la documentation justificative. Les observations doivent être envoyées à l'adresse info@gichd.org.

Le contenu de cette publication a été rédigé à partir d'informations provenant de sources librement accessibles, et son exactitude et son authenticité ont été évaluées dans la mesure du possible. Compte tenu de leur caractère improvisé, les paramètres des explosifs artisanaux varieront toujours. Eu égard aux propriétés des explosifs improvisés, les relevés en nombres fixes sont difficiles à réaliser. Les utilisateurs doivent être conscients de cette contrainte lorsqu'ils utilisent les informations contenues dans la présente publication et toujours se rappeler qu'il s'agit uniquement d'un document à consulter ; il ne s'agit pas d'une directive exécutoire.

Cette publication ne saurait remplacer la formation conforme aux NILAM. Il ne s'agit pas « d'aménager » ou « d'élargir » l'attribution des qualifications. Le soutien d'un personnel spécialement formé peut s'avérer nécessaire lorsque le personnel est confronté à des substances chimiques et des explosifs artisanaux.

Il ne faut pas utiliser la présente publication dans le but de fabriquer des explosifs artisanaux. Celle-ci fournit les informations requises par le secteur de l'action contre les mines pour améliorer la sécurité lorsqu'il est confronté à des explosifs artisanaux et des substances chimiques. Les informations sur les produits (par exemple les formules, les proportions d'ingrédients) n'y figurent pas intentionnellement.

Cette publication ne remplace pas les réglementations définies par les normes et les lois nationales.

² Un flegmatisant est une substance ajoutée à un explosif en vue d'améliorer la sécurité lors de la manutention et du transport.

2. MATIÈRES EXPLOSIVES

Cette section donne un aperçu des explosifs de fabrication industrielle et des explosifs improvisés. Elle présente les concepts de base et met en lumière les différences liées aux risques entre explosifs de fabrication industrielle et explosifs artisanaux. Une bonne connaissance du contenu de cette section, associée aux rudiments des produits chimiques décrits à la section 3 du présent chapitre, constitue une base solide pour les informations contenues dans ce guide.

2.1. CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX EXPLOSIFS

2.1.1. CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS SELON LEUR COMPOSITION

Un **explosif** est une substance ou un mélange de substances qui, sous l'influence externe, est capable de libérer rapidement de l'énergie sous forme de gaz et de chaleur.³



NOTE. Une explosion est une libération soudaine d'énergie produisant un effet de souffle avec projection possible de fragments. Le terme explosion englobe combustion rapide, déflagration et combustion et détonation.⁴

Une explosion se produit dans une matière explosive si celle-ci est stimulée d'une certaine façon. Ce stimulus peut être induit par un impact, un frottement, une étincelle,⁵ un choc ou la chaleur. Des explosions peuvent en outre se produire accidentellement, par exemple lorsque des poussières de charbon ou des vapeurs d'essence se mélangent avec l'air et sont enflammées par une source de chaleur externe.

Les **composés explosifs (homogènes)**⁶ sont des substances qui contiennent un oxydant et un combustible nécessaires au déclenchement d'une réaction explosive dans leurs molécules. Ils sont constitués d'au moins deux précurseurs chimiques. Pendant le processus de fabrication, la réaction chimique des matières premières aboutit à la création de liaisons chimiques qui se combinent pour former un nouveau composé homogène. Ce composé ne peut être de nouveau séparé par des moyens mécaniques (par exemple à l'aide d'un tamis ou par dissolution dans l'eau). Les exemples courants d'explosifs de fabrication industrielle qui remplissent ces conditions au niveau moléculaire sont le trinitrotoluène (TNT) ou l'héxogène (RDX). Les exemples courants d'explosifs artisanaux qui sont des composés sont le triperoxyde de tricycloacétone (TATP) ou l'hexaméthylène triperoxyde diamine (HMTD).



Image 2. Exemple d'un composé homogène explosif: le TNT (utilisé ici comme charge pour des obus d'artillerie) (source: GICHD ©)

³ Directives techniques internationales sur les munitions (DTIM) 1.40, 3ème édition, mars 2021.

⁴ Directives techniques internationales sur les munitions (DTIM) 1.40, 3ème édition, mars 2021.

⁵ Les étincelles électriques sont une source d'ignition brûlante et rapide.

⁶ Les composés sont homogènes, c'est-à-dire que les précurseurs chimiques sont liés à un niveau atomique. Par exemple, l'eau H₂O est un composé homogène de l'hydrogène H et de l'oxygène O.

Les **mélanges de substances** possédant des propriétés explosives sont composés d'au moins deux substances: un oxydant et un combustible. Leurs composants individuels peuvent être présents sous différentes formes et/ou constitués de diverses substances. Une réaction explosive nécessite à la fois un oxydant et un combustible. Dans un mélange, les précurseurs chimiques utilisés ne forment pas un composé chimique, et peuvent être de nouveau séparés par des moyens mécaniques. À quelques exceptions près, les oxydants et combustibles standard utilisés dans les mélanges d'explosifs artisanaux sont des substances non explosives. Les mélanges explosifs commerciaux courants sont la poudre noire ou les compositions éclair,⁷ et les mélanges courants d'explosifs artisanaux sont le nitrate d'ammonium et l'aluminium (ANAL), ou le nitrate d'urée et le fioul.



Image 3. Poudre noire (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



NOTE. La chimie des explosifs repose sur le transfert d'un ou plusieurs électrons d'un atome à l'autre. On dit qu'un atome qui perd un électron est «oxydé» et qu'un atome gagnant un électron est «réduit». Un oxydant est une substance ou un composé présentant un déficit en électrons; c'est également une source d'oxygène. Dans un composé explosif ou un mélange explosif, l'oxygène fourni est nécessaire pour qu'une réaction explosive se produise. Dans ces conditions, aucun oxygène de l'air n'est requis pour qu'un explosif se déclenche (il y a des exceptions, comme les explosions de poussières ou les explosions combustible-air par exemple). Les oxydants classiques sont les nitrates, les chlorates et les perchlorates.

Un combustible est une substance ou un composé riche en électrons qui agit dans un explosif comme agent réducteur chimique. Pour les explosifs artisanaux, les combustibles typiques contiennent du carbone, de l'hydrogène ou de l'azote (ou des composés chimiques contenant ces éléments) ou des métaux comme l'aluminium, le zinc ou le magnésium, qui libèrent des électrons lors de la réaction d'oxydo-réduction.



AVERTISSEMENT. Bien qu'ils ne soient pas classés comme explosifs, les précurseurs chimiques peuvent présenter plusieurs autres dangers comme l'inflammabilité, la corrosivité ou la toxicité.

⁷ Une composition éclair est un mélange d'oxydant et de combustible (métallique) dont la combustion rapide produit une flamme brillante et, sous confinement, produit un bruit fort.

2.1.2. CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS EN FONCTION DE LEUR UTILISATION

Au-delà des aspects chimiques, la matière explosive de fabrication industrielle est définie par son application en tant qu'explosif utilisé dans l'industrie ou comme explosif à usage militaire. Les explosifs peuvent en outre être divisés en sous-catégories en fonction de leur utilisation comme explosifs primaires, explosifs secondaires, propulseurs ou produits pyrotechniques. D'autres définitions et explications seront fournies dans la sous-section 3.1. du présent chapitre. Le Tableau 1 ci-dessous donne un aperçu des différentes matières explosives et de leur utilisation.

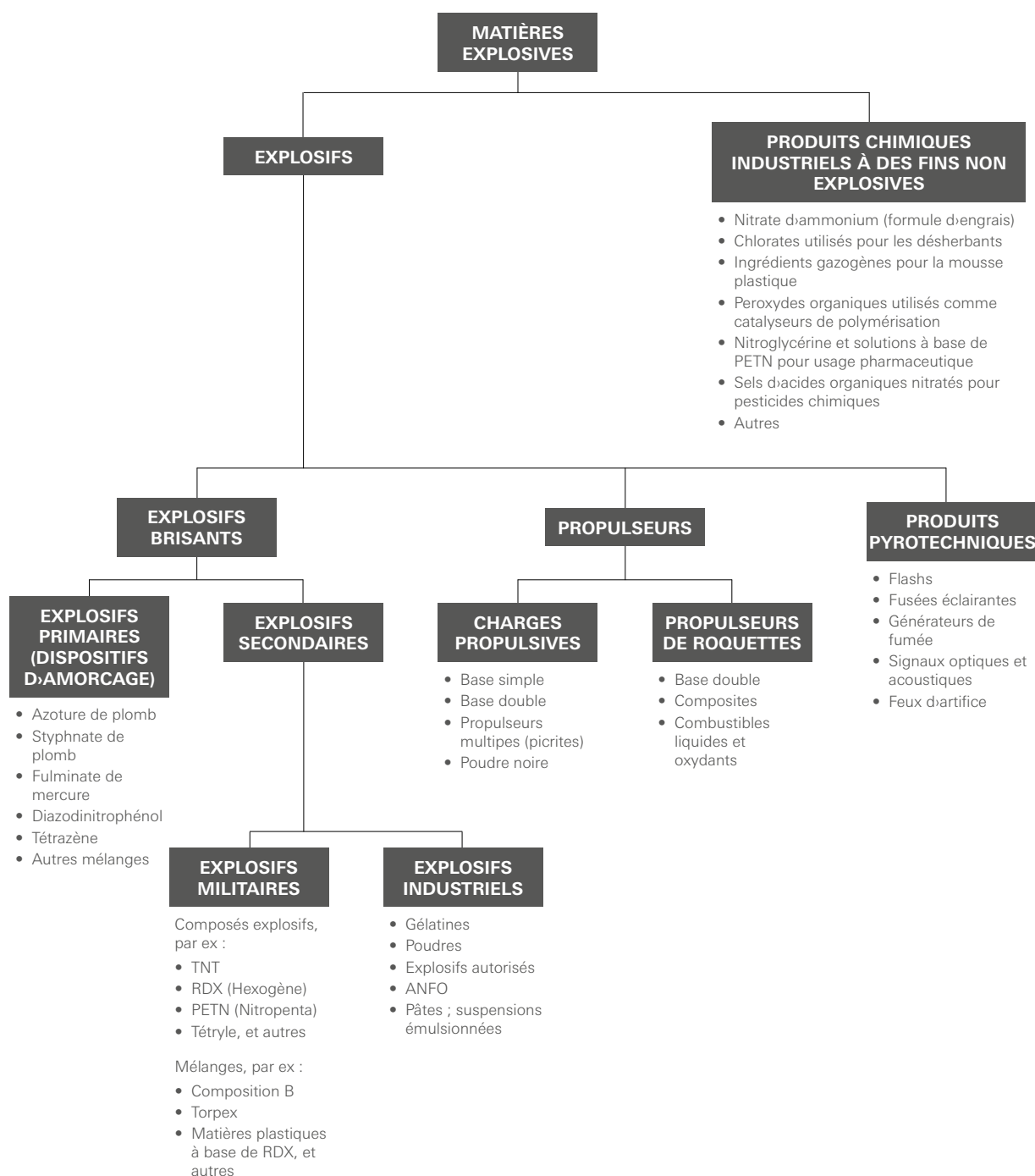


Tableau 1. Matières explosives et leurs applications⁸
(source : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA ©)

⁸ Rudolf Meyer, Josef Köhler et Axel Homburg, Explosifs. Sixième édition. (Weinheim, Allemagne : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007), 134.

Les **explosifs utilisés dans l'industrie** sont conçus et fabriqués pour des applications commerciales. On peut citer par exemple les explosifs gélatineux employés dans l'exploitation minière utilisés dans les carrières, ou les mélanges pyrotechniques utilisés dans les airbags ou les feux d'artifice. La matière explosive peut également être utilisée à des fins non explosives. Citons comme exemples l'utilisation des chlorates dans les pesticides, l'utilisation du nitrate d'ammonium dans les engrais ou l'utilisation de la nitroglycérine comme vasodilatateur⁹ dans le domaine médical.

Les **explosifs militaires** sont conçus et produits à des fins militaires. Leurs performances sont adaptées pour obtenir l'effet désiré concernant une cible, et ils peuvent être déployés par un engin explosif ou un système d'alimentation. Ces performances peuvent se décliner comme suit :

- Créer une vitesse de détonation élevée, utilisée pour entraîner les inhibiteurs métalliques à former des charges creuses, par exemple ;
- Générer un volume important de gaz, utilisé par exemple pour les ogives de torpilles, les charges de profondeur ou les mines sous-marines ; ou
- Créer une vitesse de combustion constante et prévisible combinée à une forte résistance thermique, utilisée dans les propulseurs de roquettes solides, par exemple.



Image 4. Exemple d'explosif militaire : Débris d'une ogive de torpille remplie de Torpex (RDX, TNT, poudre d'aluminium et cire) (source: GICHD ©)

Les explosifs à usage industriel et militaire sont normalisés à l'échelle internationale et/ou nationale. Leur processus de fabrication suit les protocoles et procédures établis. Leur production est contrôlée en permanence par un personnel qualifié et selon des méthodes standardisées. Cela permet de s'assurer que leurs effets explosifs caractéristiques demeureront constants quelle que soit leur utilisation. En général, cela s'applique à l'ensemble de leurs performances tout au long de leur durée de vie.

⁹ Les vasodilatateurs sont des médicaments qui ouvrent (dilatent) les vaisseaux sanguins.

2.2. CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX EXPLOSIFS ARTISANAUX

2.2.1. EXPLOSIFS ARTISANAUX: NOTIONS DE BASE

L'explosif artisanal est avant tout un mélange de combustibles et d'oxydants disponibles sur le marché; on rencontre également certaines compositions homogènes. Généralement, il est à l'état solide ou liquide. Il peut dans certains cas être transporté sous la forme d'un système à deux phases, permettant ainsi un mélange rapide avant utilisation. Comme pour la plupart des explosifs à usage militaire et industriel, l'oxygène nécessaire à la détonation d'un explosif artisanal se trouve dans le mélange ou la composition elle-même. Cela signifie que les explosifs artisanaux sont largement autosuffisants en oxygène. C'est ce qui les distingue considérablement des autres substances inflammables qui dépendent de l'oxygène disponible dans l'atmosphère. Dans la mesure où la production d'un explosif artisanal ne suit pas le même processus de fabrication rigoureux d'un explosif à usage industriel ou militaire, il est impossible de garantir son efficacité, sa fiabilité et sa sécurité.



NOTE. La NILAM 04.10 « Glossaire des termes et abréviations de l'action contre les mines » définit un explosif artisanal comme « une substance explosive fabriquée à partir d'une combinaison de produits disponibles dans le commerce ».

Le Lexique relatif à l'engin explosif improvisé du service des Nations Unies pour la lutte antimines définit les explosifs artisanaux comme des « mélanges ou composants explosifs non standard qui ont été formulés ou synthétisés à partir d'ingrédients disponibles. Ils sont le plus souvent employés en l'absence d'explosifs commerciaux ou militaires ».

2.2.2. RISQUES LIÉS AUX EXPLOSIFS ARTISANAUX

Dans la presse, comme dans les médias, le terme explosif artisanal est généralement utilisé dans les rapports concernant la découverte de charges principales ou de détonateurs improvisés contenant un explosif artisanal utilisé dans des engins explosifs improvisés (EEI).



Image 5. Exemple de différentes charges principales remplies d'explosifs artisanaux (source: Fondation Suisse de Déminage FSD ©)

Toutefois, privilégier cet usage limite la perception des risques inhérents aux explosifs artisanaux. Ceux-ci sont utilisés non seulement dans les explosifs primaires ou secondaires, mais également dans des propulseurs et des compositions incendiaires ou pyrotechniques. Outre leur utilisation dans des engins explosifs improvisés (EEI), on trouve également des explosifs artisanaux et des précurseurs chimiques d'explosifs dans :

- des entrepôts abandonnés;
- des usines de fabrication désaffectées;
- du matériel de transport; et
- des résidus de fabrication d'explosifs artisanaux.

2.2.3. FACTEURS INFLUANT SUR LA PRODUCTION, LA SÉCURITÉ, LA FIABILITÉ ET LA PERFORMANCE DES EXPLOSIFS ARTISANAUX

Dans la conception et la fabrication des explosifs militaires ou commerciaux, le choix des ingrédients dépend essentiellement de l'efficacité dont a besoin un utilisateur tout au long de la durée de vie d'un produit. Cette efficacité est très largement déterminée par une combinaison et un équilibre entre la **sécurité**, la **fiabilité** (capacité à fonctionner comme prévu) et la **performance**. Ces trois attributs sont expliqués ci-dessous. Si la sécurité et la fiabilité ne peuvent être garanties ou si l'efficacité est insuffisante, on applique alors des mesures de compensation raisonnables. Plusieurs explosifs ne sont plus désormais utilisés dans des applications explosives militaires ou commerciales parce que certaines mesures sont inacceptables, par exemple en raison du manque de stabilité d'un explosif, ou parce qu'il est considéré comme dangereux compte tenu de la forte sensibilité d'un explosif aux impulsions externes. Certains des explosifs exclus par les utilisateurs militaires et commerciaux étaient/sont des explosifs artisanaux.



NOTE. Le TATP est un exemple d'explosif qui n'est pas utilisé dans l'industrie du fait de sa tendance à la sublimation et de sa forte sensibilité aux frottements (par rapport à d'autres explosifs (primaires)). Un synonyme couramment utilisé pour le TATP par certains fabricants (illégaux) est mère de Satan, qui fait référence à sa sensibilité et à son instabilité (dévastatrice). Le mélange de chlorate de potassium et de paraffine, appelé « cheddite » au début du 20ème siècle, est un exemple d'explosif militaire remplacé par des compositions plus puissantes dans le cadre du développement des obus d'artillerie.

Lorsque des munitions militaires et des explosifs sont accessibles, leur utilisation est toujours privilégiée dans la conception et la fabrication des EEI pour autant que leur sécurité, leur fiabilité et leurs performances sont garanties. Le processus de fabrication des explosifs artisanaux ne requiert aucun traitement chimique, aucune connaissance particulière ni aucun besoin d'équipement. Au cours du 21ème siècle toutefois, la communauté internationale a accompli des progrès considérables en matière de sécurité des stocks, d'initiatives de déminage humanitaire et de perturbation des chaînes d'approvisionnement, qui ont conduit à une utilisation accrue d'explosifs artisanaux. Il existe une telle variété de combustibles et d'oxydants parmi lesquels choisir, et dans la mesure où nombre de précurseurs sont utilisés à des fins légitimes, ceux-ci ne peuvent être classés comme explosifs ou incendiaires, ce qui rend les opérations de police internationales extrêmement difficiles. Pourtant, combinés physiquement ou chimiquement, traités ou synthétisés avec d'autres précurseurs, ils peuvent faire des ravages.

La conception, la fabrication et l'utilisation des explosifs artisanaux sont souvent soumises à des procédures chimiques dangereuses parfois complexes. De nombreux produits explosifs utilisés comme explosifs artisanaux ont été exclus des applications militaires ou commerciales parce que leurs performances ne sont pas assorties de considérations en matière de sécurité et de fiabilité. Fabriquer des explosifs artisanaux efficaces n'est donc pas un choix simple ou fiable. Quelques-unes des raisons invoquées sont les suivantes :

- Les bases et acides forts, eux-mêmes des substances chimiques déjà toxiques et corrosives, pourraient être nécessaires pour fabriquer, synthétiser ou agir comme catalyseurs ou réactifs ;
- Dans un processus de fabrication, les produits intermédiaires peuvent être difficiles à contrôler sans équipement spécifique et fiable, et cela peut entraîner de violentes réactions, une inflammation spontanée et même un auto-déclenchement ;
- La présence d'impuretés chimiques dans le matériel de fabrication peut rendre le produit explosif plus sensible ;
- La disponibilité des précurseurs chimiques eux-mêmes : les produits bon marché peuvent présenter un moindre degré de pureté (d'où la nécessité par exemple de traiter de plus grandes quantités ou d'ajouter une étape de traitement supplémentaire, puisqu'un moindre degré de pureté peut avoir une incidence sur la fiabilité et les performances du produit), ou le combustible et l'oxydant peuvent ne pas être présents en quantité nécessaire pour créer un mélange optimal ; et
- Les propriétés physiques des précurseurs chimiques eux-mêmes par exemple, la taille des particules, la pureté et la variation de la forme cristalline peuvent chacune aboutir à des mélanges très instables (sur le site de fabrication ou au fil du temps) pouvant être déclenchés accidentellement sous l'effet de la chaleur, du frottement, de l'électricité statique, d'un choc ou d'un impact.

Présumer qu'un explosif improvisé possède les mêmes caractéristiques physiques que son équivalent standard de fabrication industrielle pourrait s'avérer fatal pour le personnel de l'action contre les mines ou les intervenants de première ligne. Par exemple, la poudre noire est un mélange dense d'oxydant à base de nitrate de potassium (75% en poids), de charbon (15%) et de soufre (10%). Ces quantités sont publiées dans un document en libre accès et facilement disponible. Les variations de quantités de matières premières, la taille des particules, la pureté, la durée du mélange, l'humidité ou le type de bois utilisé pour préparer le charbon peuvent tous avoir une incidence sur la sécurité, la fiabilité et les performances de la poudre noire. Ces variations sont à peine visibles mais, dans le pire des cas, peuvent présenter des risques supplémentaires comme une sensibilité accrue aux frottements et à la chaleur. Cet exemple vise à démontrer à quel point il peut être difficile d'évaluer la sécurité, la fiabilité et la performance des explosifs artisanaux, simplement sur la base d'un produit commercial comparable. Outre le danger d'explosion, de graves risques pour la santé doivent être pris en compte lorsqu'on fait face à des explosifs artisanaux et à leurs précurseurs chimiques.



NOTE. Les ressources, les capacités et les connaissances d'un fabricant d'explosifs artisanaux ont une incidence sur la qualité et les caractéristiques physiques d'un explosif artisanal. Par conséquent, un explosif artisanal peut être très différent de son équivalent produit industriellement.



Image 6. Charges principales remplies d'explosifs artisanaux de qualité et de sensibilité inconnues présentant des risques explosifs et non explosifs (source : FSD ©)

La classification d'une matière explosive en fonction de son application est présentée dans le Tableau 1 à la sous-section 2.1.2 ci-dessus. Cette classification est utilisée tout au long de la présente publication. Dans la mesure du possible, le système utilisé pour classer les explosifs artisanaux dans cette publication repose sur leurs oxydants, une variable significative affectant les caractéristiques physiques d'un explosif artisanal.

2.3. COMPARAISON ENTRE EXPLOSIFS DE FABRICATION INDUSTRIELLE ET EXPLOSIFS ARTISANAUX

Les explosifs de fabrication industrielle et les explosifs artisanaux sont produits pour être déployés en tant que substances explosives.

Pour ce qui est des explosifs artisanaux, deux méthodes peuvent être observées :

- Reproduire les méthodes de production pour un explosif commercial ; et
- Fabriquer un explosif improvisé à partir d'un combustible disponible et d'un oxydant.

Les trois images suivantes montrent l'aspect possible du TNT de fabrication industrielle par rapport à celui du TNT de fabrication artisanale.



Image 7. TNT de fabrication industrielle (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 8. TNT de fabrication industrielle (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 9. TNT artisanal (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

2.3.1. FABRICATION INDUSTRIELLE

Les explosifs industriels, quelle que soit leur utilisation dans le secteur commercial et le secteur militaire, sont fabriqués par des chimistes et des ingénieurs chevronnés. Les produits, ainsi que leur synthèse, sont standardisés. Durant la fabrication, les caractéristiques suivantes sont compatibles :

- La proportion des ingrédients ;
- Le degré de mélange et de pureté et la proportion en volume des matières premières ;
- La densité de l'explosif produit ;
- La taille des particules (granulométrie) ;
- La forme des particules (ou forme cristalline) ; et
- L'ajout d'additifs, afin de stabiliser ou de flegmatiser (désensibiliser) les explosifs, par exemple.

La production automatisée est réalisée dans des conditions d'hygiène industrielle strictes et la contamination par d'autres substances (entraînant un risque élevé d'effets du temps, par exemple) est fort improbable. De telles mesures sont prises pour des raisons de sécurité mais aussi de rentabilité, et pour préserver la qualité et la performance du produit au cours de sa durée de vie.

2.3.2. FABRICATION IMPROVISÉE

La plupart des explosifs artisanaux sont produits localement par des groupes ou des individus qui, en général, sont mal formés pour accomplir cette tâche par rapport aux normes de formation utilisées dans l'industrie. Ils connaissent le « comment » (le processus de fabrication proprement dit) et le « pourquoi » (comme la nécessité d'ordonner les différentes étapes de fabrication), grâce à l'Internet, aux manuels et aux guides (« livres de recettes ») ou à la formation qu'ils ont reçue, mais n'ont pas nécessairement conscience des dangers potentiels associés au processus de production ou au résultat final. Les connaissances de base sur l'atténuation des risques, les mesures de production et leur application sont souvent limitées par rapport aux standards industriels, rappelant que ces compositions et mélanges sont « improvisés » et donc imprévisibles. Il existe toutefois des exceptions où des personnes hautement qualifiées ont fabriqué des explosifs improvisés sophistiqués, en adaptant les mesures d'atténuation des risques. Ces exceptions ne doivent pas être considérées comme la norme en cas d'interaction avec des explosifs artisanaux.

Le choix d'un explosif artisanal manufacturé est principalement déterminé par les ressources disponibles au sein d'une chaîne d'approvisionnement, les connaissances et les capacités organisationnelles, ainsi que l'objectif précis d'un explosif improvisé (si une composition/un mélange d'explosif, d'incendiaire ou d'agent propulsif est nécessaire).



Image 10. Précurseurs chimiques d'explosifs découverts sur le terrain (source: GICHD ©)

Les fabricants peuvent être amenés à improviser pour créer les précurseurs nécessaires lorsqu'il n'y a pas de substances chimiques de qualité de laboratoire. Au-delà d'une formule déjà improvisée, le manque de ressources peut les contraindre à synthétiser les précurseurs ou à recourir à des substituts contenant la concentration de substance ou de composé chimique nécessaire. Par exemple, si un oxydant tel que le nitrate d'ammonium n'est pas disponible, il est alors possible d'utiliser du nitrate de baryum ou du nitrate de potassium. En plus des additifs, ces substituts de précurseurs explosifs peuvent contenir des impuretés qui n'ont aucune incidence sur l'utilisation commerciale prévue du substitut choisi mais qui pourraient avoir de graves conséquences dans un explosif artisanal. Cette pratique systématique d'improvisation par les fabricants s'applique lors de la fabrication d'un explosif improvisé, mais aussi de la récupération d'une substance d'un mélange disponible, comme la récupération du nitrate d'ammonium d'un engrais à base de nitrate d'ammonium et de calcium.



Image 11. Sac d'engrais à base de nitrate de potassium. Cet engrais peut être utilisé pour récupérer le chlorate de potassium (source: Conflict Armament Research CAR ©)

Les explosifs improvisés peuvent être contaminés par une grande variété de substances chimiques qui peuvent agir comme renforçateurs. Ces impuretés, qu'il s'agisse de substances chimiques comme des acides ou de solides à point de fusion bas comme le soufre, peuvent engendrer une instabilité. Elles peuvent augmenter la sensibilité des explosifs artisanaux aux frottements et aux flammes, et

peuvent exploser, ou avoir des effets secondaires indésirables comme la production de chaleur ou la formation de sous-produits dangereux. Par exemple, si le chlorate de potassium est contaminé par du soufre ou du nitrate d'ammonium, la sensibilité du mélange aux frottements et à la chaleur augmente considérablement. Cette contamination peut produire des explosions spontanées de ces mélanges au cours de la manipulation et du transport, même à température ambiante.



AVERTISSEMENT. Le frottement génère de la chaleur dans une composition ou un mélange par l'introduction d'une pression entre les cristaux et la compression de l'air piégé dans les vides. Ces zones de chaleur localisée à l'intérieur des explosifs peuvent entraîner une décomposition accidentelle.¹⁰



NOTE. La performance et la stabilité des explosifs artisanaux peuvent être très différentes des résultats d'une analyse en laboratoire. Les ressources limitées et le manque de connaissances du fabricant de l'explosif artisanal vont par conséquent aggraver les risques pour la sécurité du personnel de l'action contre les mines amené à manipuler des explosifs improvisés. Lorsqu'il rencontre des explosifs artisanaux, le personnel de l'action contre les mines doit toujours prendre en considération le fait que l'explosif improvisé n'a pas été fabriqué selon une norme industrielle et doit par conséquent être traité avec beaucoup de prudence.

Les explosifs de fabrication industrielle doivent satisfaire à certaines exigences minimales en termes de performance, de sensibilité, de stabilité, de comportement thermique, de comportement pendant le stockage, d'étanchéité et d'uniformité, avant que leur utilisation ne soit acceptée. Ces exigences minimales peuvent varier en vertu des normes d'un client (par exemple les explosifs à usage militaire) ou les prescriptions en vigueur d'un État.

PERFORMANCE	La caractérisation physique d'un explosif correspond à son usage prévu, par exemple, une faible vitesse de détonation pour les explosifs employés dans l'exploitation minière.
SENSIBILITÉ	Un explosif doit pouvoir être manipulé sans danger. Il doit être sensible au détonateur ou sensible aux flammes dans les conditions requises de son utilisation. Les explosifs militaires doivent être aussi insensibles que possible compte tenu des exigences inhérentes à leur utilisation.
STABILITÉ ET COMPORTEMENT PENDANT LE STOCKAGE	Un explosif doit rester chimiquement stable sur une certaine période, tel que défini par son utilisation et sa finalité. Pour ce qui est des explosifs militaires, cette période de stabilité peut aller jusqu'à 10 ans ou plus. Les effets du vieillissement qui limitent l'utilisation d'un explosif ne doivent pas se produire pendant cette période. Un explosif ne doit pas réagir de manière indésirable avec l'environnement; par conséquent, les compositions d'explosifs primaires ne doivent pas réagir avec l'enveloppe métallique de leur détonateur, par exemple, et les explosifs secondaires ne doivent pas réagir avec leur boîtier de munitions.
ÉTANCHÉITÉ	En cartouches, les explosifs industriels doivent pouvoir résister aux effets de deux heures passées dans de l'eau stagnante. Les explosifs militaires doivent être totalement étanches et résister à la corrosion provoquée par l'eau salée.
UNIFORMITÉ	Les explosifs utilisés dans l'industrie doivent pouvoir être malléables, et les explosifs militaires doivent pouvoir être moulés et comprimés.
COMPORTEMENT THERMIQUE	Les explosifs utilisés dans l'industrie doivent être entièrement fonctionnels dans une plage de -25°/+60°, et ceux à usage militaire entre -40° et +60°.

Tableau 2. Liste des exigences auxquelles les explosifs à usage industriel et militaire doivent satisfaire

¹⁰ La sous-section 3.3.4 fournit une explication plus détaillée. *Sensibilité et réactivité.*



AVERTISSEMENT. Le comportement des explosifs artisanaux stockés peut être influencé par leur réactivité. Par exemple, l'utilisation d'un récipient en cuivre ou en laiton pour le nitrate d'ammonium¹¹ ou l'azoture de plomb augmente leur sensibilité à la détonation.

Les questions de sécurité concernant un produit et sa durée de vie tel que décrit, ou nécessaires pour les explosifs de fabrication industrielle, ne constituent pas un facteur déterminant pour les explosifs artisanaux. Les explosifs improvisés sont souvent fabriqués par nécessité absolue et n'ont généralement pas besoin de rester fonctionnels ou stables sur de longues périodes. Les questions de sécurité concernant les explosifs artisanaux se limitent par conséquent à l'acceptation du risque par le fabricant, comme une explosion prématurée.

En règle générale, les explosifs artisanaux pâtissent davantage des effets du vieillissement pendant une brève période que les explosifs d'origine industrielle. La manipulation en toute sécurité et la sensibilité de certains explosifs artisanaux dépendent souvent de l'humidité, de la température et du degré de contamination présente au cours de leur fabrication. Par exemple, certains explosifs artisanaux impliquant l'utilisation d'acide nitrique ou d'acide sulfurique dans leur production risquent de déflagrer ou d'exploser au fil du temps, si un excédent d'acide reste dans le mélange.



Image 12. VS-500 présentant une dilatation de l'explosif artisanal en raison de l'humidité sous l'effet du vieillissement (source: FSD ©)

Lors de la manipulation, la sécurité des explosifs improvisés doit être considérée comme inférieure à celle des explosifs de fabrication industrielle. La sensibilité des explosifs artisanaux est souvent supérieure à celle des explosifs à usage industriel. Outre leurs risques d'explosion, les deux types peuvent représenter un grave danger (parfois mortel) pour la santé compte tenu de leur toxicité.

¹¹ De plus amples informations sont disponibles à la sous-section 3.2. Réactions explosives.

EXEMPLE : COMPARAISON ENTRE LES MÉTHODES DE PRODUCTION

Même lorsque des explosifs semblent identiques, les ressources disponibles pour la fabrication et les capacités du fabricant à extraire et à transformer les matières premières ont une incidence notable sur le produit final.

Le nitrate d'ammonium mélangé aux hydrocarbures (ANFO) est un explosif commercial largement répandu utilisé principalement dans les opérations minières. L'ANFO artisanal est utilisé comme explosif improvisé dans des EEI à l'échelle internationale.

L'ANFO (nitrate d'ammonium-fioul) est un explosif à usage commercial contenant du nitrate d'ammonium industriel (densité: 0,7–0,9 g/cm³; granules non homogènes¹² de 1 mm de diamètre) et un combustible organique comme le kérosène ou le diesel. Jusqu'à un certain niveau, le rapport AN-fioul est utilisé pour améliorer la vitesse de détonation et donc les performances explosives. Il est possible d'ajouter des sensibilisateurs afin d'améliorer le processus d'initiation. Des flegmatisants peuvent par ailleurs être utilisés pour réduire la vitesse de détonation.

Pour les explosifs artisanaux, le prélèvement du nitrate d'ammonium (densité: 0,9–0,97 g/cm³; granules homogènes de 2 mm de diamètre) utilisé comme engrais azoté est un processus courant pour se procurer cette matière première. Le nitrate d'ammonium de qualité engrais a une porosité relativement faible.¹³ Ces engrais azotés contiennent d'autres composés chimiques comme le phosphore, le soufre, la potasse, l'urée ainsi que des agents occultants pour éviter l'agglutination.

Quelle que soit l'origine d'un engrais fertilisant à base de nitrate d'ammonium, les fabricants d'explosifs artisanaux seront capables d'en extraire les cristaux de nitrate d'ammonium de qualité explosifs en suivant la procédure appropriée. La teneur en nitrate d'ammonium d'un engrais déterminera la quantité de cristaux de nitrate d'ammonium pouvant être extraits. Celle-ci est généralement limitée à moins d'un certain pourcentage pour rendre plus difficile la fabrication d'un explosif artisanal sans traitement supplémentaire. Contrairement au nitrate d'ammonium de qualité industrielle, le nitrate d'ammonium de qualité engrais (extrait) contiendra des impuretés et présentera des traces de contamination compte tenu du processus de fabrication initial.

¹² Un granule est une pastille ou un globule solide d'une substance formé par la solidification d'un liquide pendant un processus industriel.

¹³ La porosité représente le rapport entre le volume vide et le volume total d'une substance ou d'un mélange de substances.





	NITRATE D'AMMONIUM TECHNIQUE (TGAN)	NITRATE D'AMMONIUM HAUTE DENSITÉ/UTILISÉ DANS LA FABRICATION D'ENGRAIS (HDAN/FGAN)
Description	<p>Granules Grossier et poreux Blanc mat Diamètre ~1 mm non-homogène</p> 	<p>Granules Lisse Blanc brillant Diamètre ~2 mm homogène</p> 
Densité	0,7 – 0,9 g/cm ³	0,9 – 0,97 g/cm ³
Remarques	<p>IL EST POSSIBLE que les granules soient broyés une fois prêts à l'emploi</p> <p>TRÈS PROBABLEMENT mélangés à un combustible une fois prêts à l'emploi</p> <p>➔ la couleur change en fonction du combustible utilisé</p> <p>AN + aluminium</p> 	<p>IL EST TRÈS PROBABLE que les granules soient broyés une fois prêts à l'emploi</p> <p>TRÈS PROBABLEMENT mélangés à un combustible une fois prêts à l'emploi</p> <p>➔ la couleur change en fonction du combustible utilisé</p> <p>AN + fioul</p> 

Tableau 3. Comparaison de différentes qualités de nitrate d'ammonium
(source: Service des Nations Unies pour la lutte antimines ©)

3. PRINCIPES PHYSIQUES ET CHIMIQUES CONCERNANT LES CARACTÉRISTIQUES DES EXPLOSIFS

La présente section fournit un aperçu ainsi que des explications sur les principaux termes techniques et les définitions utilisés pour décrire les matières énergétiques et les substances explosives. L'objectif est de parvenir à une interprétation commune des explosifs artisanaux et des explosifs de fabrication industrielle parmi le personnel de l'action contre les mines, les intervenants de première ligne et les agents humanitaires, à l'appui des activités de gestion des risques et de planification opérationnelle. Cette section présente par ailleurs les caractéristiques physiques relatives à la sécurité et à la sensibilité. Ci-après, les informations détaillées et le niveau de complexité de la terminologie utilisée sont adaptés pour satisfaire aux exigences énoncées dans le présent guide et peuvent s'avérer moins compliqués que dans certaines publications scientifiques.



NOTE. Le terme **explosif artisanal** équivaut à (ou est utilisé comme synonyme pour) **explosif primaire ou secondaire**. Cette approche est inappropriée dans la mesure où la matière explosive improvisée est également utilisée dans des applications pyrotechniques ou de propulseurs.

3.1. CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS

Cette sous-section présente une classification communément admise des explosifs. Ces informations peuvent s'avérer utiles pour identifier les explosifs et leur utilisation, établir une distinction entre les différents dangers ou améliorer leur signalement.

S'il y a plusieurs façons de classer les substances explosives, une méthode courante consiste à les regrouper en fonction de leurs performances et de leur utilisation (Voir sous-section 2.1.2, Tableau 1).

Les explosifs sont classés comme suit :

- Les explosifs brisants, qui peuvent être subdivisés en :
 - Explosifs primaires ;
 - Explosifs secondaires ;
 - Explosifs tertiaires ; et
 - Explosifs insensibles.¹⁴
- Les explosifs déflagrants ou les propulseurs ; et
- Les produits pyrotechniques.

¹⁴ Les explosifs insensibles sont particulièrement résistants aux stimuli externes comme les chocs mécaniques ou la chaleur. Leur probabilité d'exploser accidentellement est très faible.

3.1.1. EXPLOSIFS BRISANTS

Dans le cadre de la conception des explosifs militaires et industriels, les principaux points examinés sont les suivants :

- La nécessité ou non d'une combustion ou d'une détonation pour qu'un explosif remplisse bien ses fonctions; et
- La facilité avec laquelle ils sont déclenchés pour y parvenir.

Le terme «**explosif brisant**» est utilisé si un explosif se déclenche instantanément. Le front de réaction se déplace à travers un explosif avec une vitesse égale ou supérieure à la vitesse sonique de l'explosif. De grandes quantités d'énergie sous forme de chaleur et de gaz sont libérées en quelques microsecondes parce qu'il est nécessaire qu'un explosif «accomplisse le travail» pour lequel il a été conçu sur les lieux environnants (faire voler en éclat, endommager, faire exploser, infiltrer, soulever/pilonner, créer des ondes de choc/effets de souffle/impulsions sous-marines pour projeter de la fragmentation sur une vaste étendue). La vitesse de réaction est de l'ordre de quelques km/s.

3.1.1.1. EXPLOSIFS PRIMAIRES

Les explosifs qui peuvent facilement être induits par un petit stimulus sont appelés explosifs primaires (ou initiateurs). Ils peuvent déflagrer ou se déclencher en milieu confiné ou non et la transition de la combustion à la détonation est extrêmement rapide. Les explosifs primaires sont le plus souvent utilisés pour déclencher des réactions par lesquelles leurs propriétés chimiques produisent une onde de choc (ou vitesse de combustion) suffisamment intense pour faire déflagrer/détoner un explosif moins sensible. L'allumage de la plupart des explosifs primaires se fait par frottement intercrystallin, ce qui entraîne la formation de points sensibles (point dans un explosif où la compression adiabatique de petites bulles de gaz occluses génère une température pouvant atteindre 400°C à 500°C; ces points peuvent durer 10⁻⁵ secondes) nécessaires pour démarrer le processus d'explosion.¹⁵ En général, les explosifs primaires sont beaucoup plus sensibles au frottement, à la chaleur, aux étincelles et aux chocs que les explosifs secondaires. Cette caractéristique les rend essentiels à la fonction d'un détonateur. Les exemples d'explosifs primaires sont le styphnate de plomb, le fulminate de mercure, l'azoture de plomb, le dinitrobenzène diazoxide (DDNP), le tétrazène, le HMTD et le TATP; tous ont été utilisés comme détonateurs dans des compositions d'explosifs artisanaux. Toutefois, certaines compositions d'explosifs artisanaux primaires comme le TATP et le HMTD ont été utilisées à la fois comme explosifs primaires et secondaires, compte tenu de leurs performances explosives.



NOTE. Pour les explosifs, le terme «allumage» renvoie au début de la combustion, et le terme «déclenchement» fait référence au début d'une réaction déflagrante ou détonante.



Image 13. Détonateurs électriques improvisés contenant un explosif primaire (source: FSD ©)

¹⁵ John E. Field, "Hot Spot Ignition Mechanisms for Explosives," *Acc. Chem. Res.* Issue 1 (1 November 1992): 489-496.

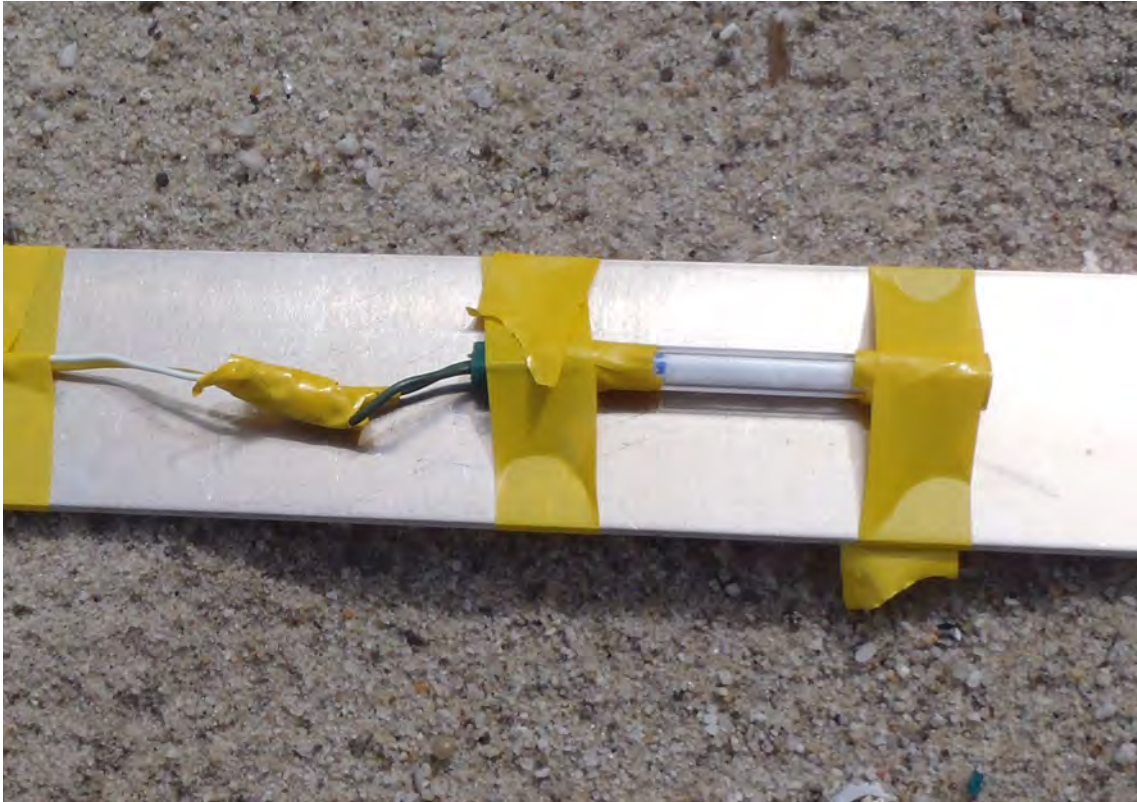


Image 14. Détonateur improvisé (charge: TATP) sur une plaque témoin en aluminium (source: Brimstone Consultancy Limited BCL ©)



Image 15. Les effets d'un détonateur improvisé (charge: TATP) sur une plaque témoin en aluminium (source: BCL ©)

3.1.1.2. EXPLOSIFS SECONDAIRES ET TERTIAIRES

Les explosifs qui nécessitent un puissant stimulus pour exploser (à savoir l'impact d'une onde de choc afin de provoquer une détonation) sont connus comme étant des explosifs secondaires. La nécessité d'un puissant stimulus signifie que les explosifs secondaires ne peuvent être déclenchés seuls de manière sûre sans force explosive externe. En règle générale, un explosif primaire est utilisé pour fournir le choc qui provoquera la détonation. Le déclenchement des explosifs secondaires se fait principalement par la compression de petits espaces gazeux entre les cristaux. Les explosifs secondaires sont relativement insensibles à la chaleur, aux chocs cinétiques, aux décharges électrostatiques et aux frottements, ce qui rend leur manipulation, leur façonnage et leur transport suffisamment sûrs. Certains explosifs secondaires, comme le tétranitrate de pentaérythritol (PETN), sont légèrement plus sensibles et ont une vitesse de détonation plus élevée – plus de 8 400 m/s. Ces explosifs peuvent être utilisés comme charges d'amorçage pour les explosifs tertiaires. Les exemples d'explosifs secondaires sont l'octogène (HMX), le RDX, le TNT et le tétryle. Les caractéristiques importantes qui définissent la performance des explosifs secondaires sont la vitesse de détonation et la puissance (force explosive). Leur puissance (la capacité à effectuer le travail sur les lieux environnants) est déterminée par la chaleur de l'explosion elle-même (la quantité de chaleur disponible pour libérer les produits gazeux) et la quantité de gaz produit par unité de volume de l'explosif.



NOTE. Bien que les explosifs secondaires utilisés dans des applications militaires ou commerciales soient moins sensibles que leurs équivalents primaires et se manipulent généralement sans risque, cela ne signifie pas que les explosifs artisanaux possédant les propriétés (présumées) d'un explosif secondaire sont automatiquement sûrs à manipuler ou moins affectés par des influences externes. La présence d'impuretés, les effets du vieillissement et le mélange de compositions d'explosifs artisanaux primaires et secondaires dans la même charge principale explosive rendent leurs performances incertaines.



Image 16. PETN, un explosif secondaire

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

En fonction de leurs caractéristiques chimiques ou de leur méthode de traitement, certains explosifs secondaires sont très peu sensibles et ne peuvent être déclenchés par un explosif primaire au moyen d'un détonateur seul. Dans ce cas, un booster composé d'un explosif pouvant être déclenché par un explosif primaire est utilisé pour fournir un choc suffisant afin de déclencher cet explosif secondaire. La combinaison d'un détonateur avec un explosif primaire, un booster et une charge principale, tous deux avec un explosif secondaire, s'appelle la chaîne de mise à feu.

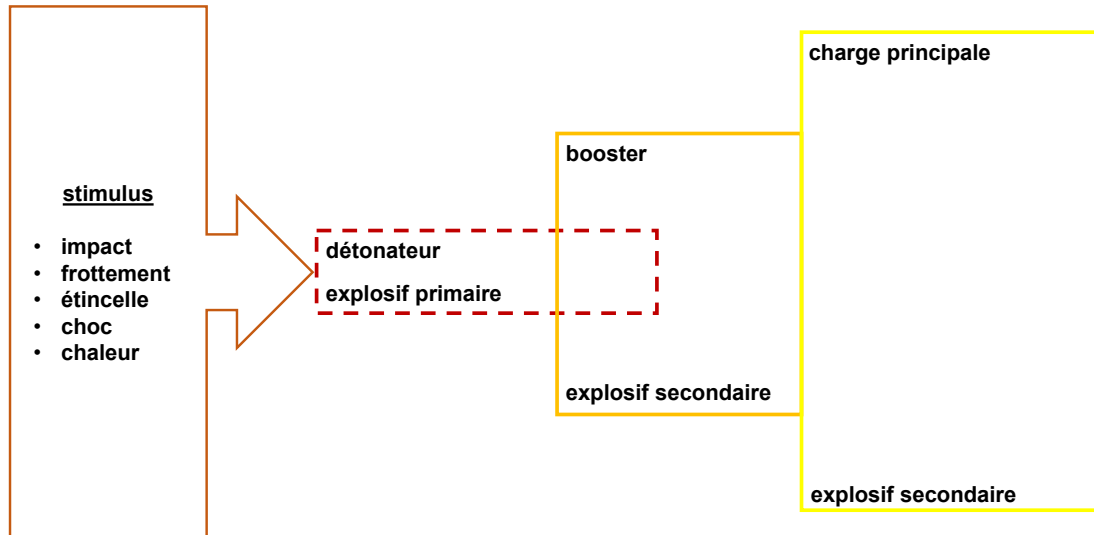


Figure 1. Schéma de base d'une chaîne de mise à feu. Un explosif primaire dans un détonateur est déclenché par un stimulus externe. Dans un deuxième temps, sa détonation provoque la mise à feu d'un explosif secondaire dans un booster. L'onde de choc créée par la détonation du booster stimule l'explosif secondaire d'une charge principale, et la charge principale explose. (source: GICHD ©)

Les explosifs nécessitant un booster sont parfois qualifiés d'explosifs tertiaires. Les mélanges à base de nitrate d'ammonium, de HMX, de nitrotriazolone, de nitrate de guanidine, de nitroguanidine et certains explosifs à base de peroxyde d'hydrogène sont généralement considérés comme des explosifs tertiaires.



Image 17. Boosters pour charges principales d'explosifs artisanaux fabriqués à partir d'un cordeau détonant improvisé (source: FSD ©)



AVERTISSEMENT. Pour les explosifs artisanaux qui nécessitent le déclenchement d'un explosif primaire, rien ne laisse supposer qu'ils aient un niveau de sensibilité/d'insensibilité comparable aux explosifs secondaires ou tertiaires à usage militaire ou commercial.



NOTE. Une chaîne de mise à feu peut comprendre un mélange d'explosifs commerciaux, militaires et artisanaux, en fonction de la disponibilité de la chaîne d'approvisionnement et de la sensibilité à la détonation. Par exemple, les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium sont insensibles aux chocs uniquement et nécessitent un booster d'explosif commercial/militaire plus puissant (comme le tétryle ou le PETN) pour provoquer une détonation. Citons à titre d'illustration une mine marine improvisée utilisée au Yémen, dans laquelle la charge principale de 20,3 kg à base de nitrate d'ammonium et d'aluminium a été déclenchée par un booster RDX de 0,7 kg et un détonateur commercial.¹⁶ Un diamètre critique, excédant ceux des explosifs militaires, est également requis pour propager la détonation ; c'est notamment l'une des principales raisons pour lesquelles les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium pèsent souvent plus de 20 kg. Une observation utile pour les spécialistes de l'action contre les mines puisque celui-ci sépare les gros engins de ceux qui sont ergonomiquement portables (< 20 kg).

3.1.2. EXPLOSIFS DÉFLAGRANTS OU PROPULSEURS

Le terme « **explosif déflagrant** » est employé pour les explosifs (propulseurs) qui se décomposent par déflagration en milieu confiné. Le front de réaction se déplace à travers l'explosif à une vitesse inférieure à celle de la vitesse sonique de l'explosif. Les propulseurs sont conçus pour brûler assez rapidement (en quelques millisecondes) en milieu confiné afin d'optimiser le volume de gaz chauds produits. Cela est généralement nécessaire pour fournir une poussée, ce qui permet de projeter un explosif brisant ou un autre matériau semblable vers un point spécifique où son travail est nécessaire. La vitesse de la réaction s'exprime en quelques m/s. Dans l'idéal, la combustion d'un propulseur est rapide et prévisible. Cette réaction chimique se produira avec les caractéristiques suivantes :

- Sans oxygène atmosphérique supplémentaire ;
- De façon exothermique ; et
- Implique la création d'importants volumes de gaz chauds comme moyen de propulsion.

Les propulseurs sont produits sous forme de poudre, de pastilles, de solide ou de liquide. Les exemples de propulseurs sont les compositions à base de nitroguanidine et de nitroglycérine pour les munitions tirées d'un tube ou l'hydrazine, un propergol liquide utilisé dans les missiles.



AVERTISSEMENT. En général, les propulseurs sont conçus pour brûler rapidement. La contamination par d'autres agents chimiques, le confinement ou le mélange soudain à grande échelle du combustible et de l'oxydant d'un propergol liquide hypergolique (utilisé dans certains moteurs-fusées) peut provoquer la décomposition explosive d'un propulseur.

¹⁶ Lettre datée du 26 janvier 2018 du Panel d'experts sur le Yémen mandaté par la Résolution 2342 du Conseil de Sécurité (2017) adressée au Président du Conseil de Sécurité. A. Himmiche, F.R. Carvajal, D.R. Gunaratne, G. Johnsen, & A. Wilkinson, p. 170, Tableau 41.1.



Image 18. Exemple de comportement de combustion de propulseurs solides lorsqu'ils ne sont pas confinés (source : GICHD ©)



Image 19. Propulseur à base de nitrocellulose (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 20. Autre exemple de propulseur à base de nitrocellulose. Percer des trous augmente la surface du granule et donc la combustion (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

3.1.3. PRODUITS PYROTECHNIQUES

Les produits pyrotechniques sont des mélanges spécifiques de combustibles et d'oxydants conçus pour brûler, mais pas pour déflagrer ou exploser. Leur vitesse de réaction est bien plus faible que celle des explosifs propulsifs et est calculée en mm/s. La chaleur générée sert à produire des compositions lumineuses et colorées (fumigènes, feux d'artifice), fumigènes (compositions obscurcissantes), thermiques (thermite et thermate), sonores (grenades flash et simulateurs de combat), de gaz actifs (comme dans les airbags de voiture) et de retardement (mèches de grenade à main, mèches à retardement, mèches lentes). Les produits pyrotechniques réagissent de manière exothermique avec les réactions chimiques qui sont (principalement) non explosives, auto-entretenues et indépendantes.

Les produits pyrotechniques sont des composés énergétiques et/ou des mélanges présentant différentes sensibilités par nature.

- Les produits pyrotechniques peuvent montrer des effets s'apparentant à une détonation sous certaines conditions, par exemple, s'ils sont confinés.
- La plupart des produits pyrotechniques sont le mélange d'un combustible et d'un oxydant. Les oxydants constituent la substance active de la force atteignable par un explosif artisanal mélangé.
- Les groupes de produits pyrotechniques subissent les effets du vieillissement et ont une durée de stockage limitée.

3.2. RÉACTIONS EXPLOSIVES

Cette sous-section présente un résumé succinct des réactions explosives. Ces informations peuvent être utiles pour mieux appréhender les réactions énergétiques et éclairer les évaluations des risques et des dangers.

Les principales réactions énergétiques à prendre en considération pour les explosifs sont :

- la combustion ;
- la déflagration ; et
- la détonation.

La déflagration et la détonation se distinguent de la combustion habituelle par leur puissance de sortie, leur vitesse de propagation (quelques mm/s pour la combustion, plusieurs centaines de m/s pour la déflagration et plusieurs milliers de m/s pour la détonation) et la source d'oxygène utilisée. Chacune de ces réactions est déterminée par les caractéristiques chimiques du matériau énergétique, notamment l'énergie d'activation ou d'amorçage requise, la densité énergétique de la substance, ainsi que le confinement et les effets du vieillissement et d'autres processus de détérioration.

Les substances brûlantes ou déflagrantes se décomposent selon un mécanisme thermique qui se produit à la surface du matériau alors que les substances détonantes se décomposent très rapidement, provoquant une onde de choc. Ceci est résumé dans la figure et les tableaux ci-après.

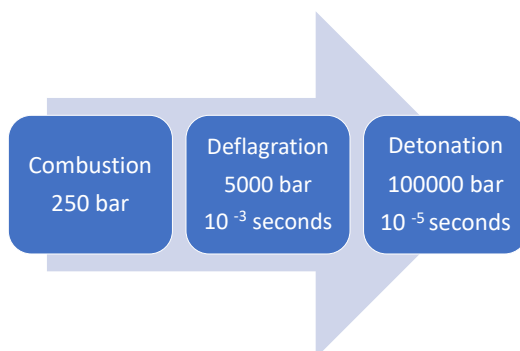


Figure 2. Réactions énergétiques (source : GICHD ©)

TYPE DE RÉACTION	VITESSE DE RÉACTION	PUISSANCE DE SORTIE ET PRESSION	SOURCE D'OXYGÈNE	EXEMPLE
Combustion	Faible (mm/s)	100 W/cm ³ 250 bars	Atmosphère	Bois brûlant
Déflagration	Subsonique (+100 m/s)	100 W/cm ³ 5 000 bars	Dans le composé	Poudre noire confinée
Détonation	Supersonique	1 000 W/cm ³ 100 000 bars	Dans le composé	TNT

Tableau 4. Aperçu des caractéristiques de combustion, de déflagration et de détonation

3.2.1. COMBUSTION

La combustion est une réaction chimique qui se produit entre une substance enflammée et l'oxygène extérieur (par exemple atmosphérique). La réaction se produit à la surface du matériau. La combustion se produit en quelques secondes; il s'agit d'une réaction chimique lente.

La combustion génère de la chaleur et de la fumée, et peut créer une pression pouvant aller jusqu'à 250 bars.

Les substances énergétiques qui se décomposent par combustion sont utilisées dans des applications telles que les moteurs de roquettes et les mèches lentes.

3.2.2. DÉFLAGRATION

La déflagration se produit lorsqu'une substance non confinée s'enflamme soudainement au contact d'une flamme ou d'une étincelle, en cas de choc, de frottement ou de température élevée.

Les substances réagissent plus rapidement et sont plus violentes que les matières combustibles. Toutefois, la réaction se produit sur ou juste au-dessus de la surface du matériau, qui s'estompe couche après couche.

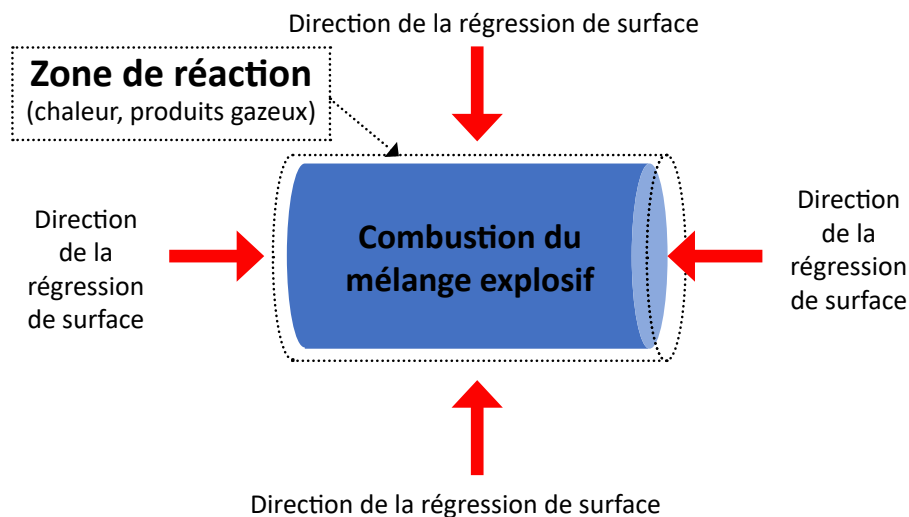


Figure 3. Schéma de la combustion/déflagration d'un explosif (source: BCL ©)

La déflagration se produit en quelques millisecondes (10^{-3} sec.); il s'agit d'une réaction chimique rapide, mais sa vitesse est toujours subsonique.

La déflagration génère de la chaleur, de la fumée et une pression pouvant aller jusqu'à 5 000 bars.

L'effet des substances qui se décomposent par déflagration est utilisé, par exemple, comme propulseur pour les munitions destinées aux armes à feu de petit calibre. Le terme déflagration est souvent employé pour décrire une violente combustion d'un explosif qui ne s'est pas déclenché.

3.2.3. DÉTONATION

La détonation se produit lorsqu'une substance initiée se décompose par la propagation d'une onde de choc. Elle se définit comme une décomposition explosive extrêmement rapide, au cours de laquelle une vague de réaction exothermique maintient un front de choc dans le matériau explosif. La vitesse de cette onde de choc peut être de l'ordre de 1 800 à 10 000 m/s, en fonction de l'explosif. Contrairement à une déflagration, la vitesse à laquelle le matériau se décompose ne relève pas de la vitesse de transfert thermique à la surface du matériau mais de la vitesse à laquelle la matière explosive propagera l'onde de choc.

La détonation se distingue des autres formes de combustion dans la mesure où le transfert d'énergie important se fait par flux de masse en fortes vagues de compression, sans contribution majeure des autres processus (comme la conduction thermique), si essentielle dans les flammes. La détonation engendre une forte onde de choc qui se propage dans l'explosif. Ce choc chauffe le matériau en le compressant, déclenchant ainsi une réaction chimique, et un équilibre est atteint de sorte que la réaction chimique permette à l'onde de choc de se propager. Dans ce processus, le matériau se consume plus rapidement que dans une flamme, ce qui permet de distinguer facilement la détonation des autres processus de combustion.

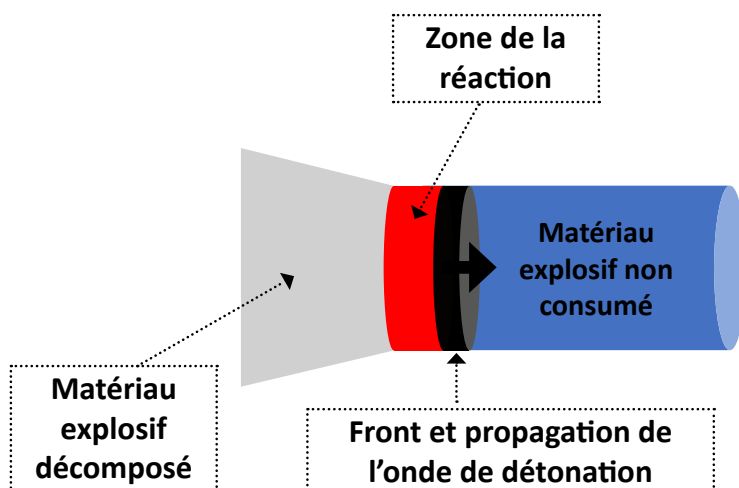


Figure 4. Schéma d'une détonation dans un matériau explosif (source: BCL ©)



NOTE. Pour qu'une détonation se produise, une onde de choc doit se déplacer à travers un explosif à une vitesse supérieure ou égale à la vitesse du son du matériau explosif.

La détonation se produit en quelques microsecondes (10^{-5} sec.); il s'agit d'une réaction chimique extrêmement rapide. Sa vitesse est supersonique et peut atteindre entre 1 500 m/s (explosifs pour l'exploitation minière souterraine) et 10 050 m/s (CL-20, l'explosif chimique connu le plus puissant aujourd'hui).

Une détonation crée une onde de choc et une pression excédant 100 000 bars à sa source.

Les substances qui se décomposent par détonation sont utilisées comme explosifs brisants. Elles sont également appelées explosifs détonants.

3.2.4. TRANSITION COMBUSTION–DÉFLAGRATION–DÉTONATION

La transition vers la détonation peut se produire au moyen de deux mécanismes spécifiques dans les explosifs artisanaux :

- Combustion-détonation ; et
- Choc-détonation.

La transition de la combustion à la détonation se produit lorsque la pression à la surface de combustion d'un explosif accélère le front de flamme au-delà de la vitesse du son du matériau explosif compte tenu des conditions existantes. Cela s'apparenterait à un avion qui franchit la vitesse du son dans l'air, le point auquel on entend le bang supersonique. Nous passons d'une déflagration à une détonation, ce qui semble indiquer qu'il y aura un délai jusqu'au moment où se produit la détonation. Ce délai dépend de la nature de l'explosif, de la densité de chargement et des conditions de confinement. Par exemple, un explosif non confiné peut simplement se consumer ou déflagrer sans aucune détonation. Si, toutefois, l'explosif est soumis à une combustion en milieu confiné, alors les gaz de combustion ne peuvent s'échapper. Cela entraîne une augmentation de pression à la surface de l'explosif, qui augmente encore davantage la vitesse de combustion. Si l'augmentation de pression à la surface de l'explosif accélère la vitesse de combustion jusqu'à la vitesse du son dans le matériau explosif, alors la détonation se produira. C'est la raison pour laquelle les explosifs secondaires ou tertiaires qui sont confinés et exposés au feu peuvent détoner.

L'initiation par onde de choc est utilisée pour déclencher les explosifs secondaires avec les explosifs primaires. Dans un choc destiné à engendrer une détonation, il n'y a aucune obligation de propager un front de flamme dans le processus de combustion. En revanche, une onde de choc à grande vitesse générée par la source d'ignition est à l'origine du processus de formation de la détonation. Alors que l'onde de choc se déplace dans l'explosif, la compression des particules et le réchauffement adiabatique se produisent au front de choc. Le réchauffement adiabatique et la compression libèrent de l'énergie à mesure que l'explosif se décompose, ce qui accélère encore l'onde de choc. À un moment donné, la vitesse de l'onde de choc peut dépasser la vitesse du son dans un matériau explosif, et la détonation se produira. L'onde de choc devra parcourir une distance le long de l'explosif (de quelques millimètres voire centimètres) avant qu'elle ne se propage d'elle-même mais, contrairement à la transition combustion-détonation, le délai est de l'ordre de quelques microsecondes.

3.3. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES EXPLOSIFS

Les informations communiquées dans cette sous-section permettent d'évaluer la stabilité et la sensibilité d'un explosif, ce qui permet d'évaluer les dangers et risques potentiels. Lorsqu'on évalue des explosifs, il est essentiel de connaître leurs caractéristiques physiques.



NOTE. Il est essentiel d'appréhender la sensibilité d'un explosif aux stimuli tels que les chocs ou les frottements pour le manipuler sans risque. La sensibilité aide à déterminer des procédures de sécurisation appropriées.¹⁷



NOTE. Connaître la force d'un explosif permet de déterminer les mesures de protection nécessaires et appropriées qui doivent être mises en place. Afin de réunir des données comparables, la force d'un explosif peut être exprimée en équivalent TNT. L'équivalent TNT n'est pas une unité de mesure fondée sur le système international d'unités. Par exemple, la poudre noire a un équivalent TNT de 0,2-0,4, le RDX a un équivalent TNT de 1,5.

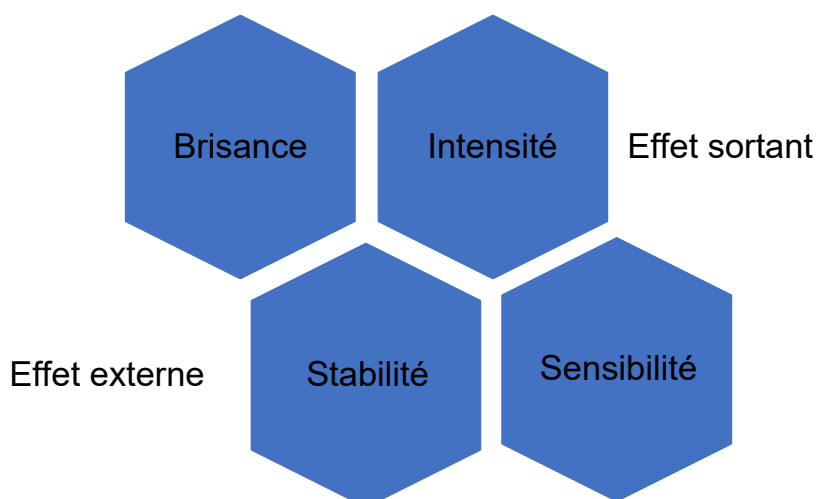


Figure 5. Propriétés d'un explosif (source : GICHD ©)

3.3.1. BRISANCE

La brisance indique la capacité d'éclatement d'un explosif. Ses deux principaux paramètres, outre le rendement gazeux et la chaleur de l'explosion, sont la vitesse de détonation et la densité de chargement. La densité de chargement est le rapport entre la charge explosive et l'espace dans lequel un explosif se déclenche (compacité).

¹⁷ NILAM 04.10 Procédure de mise hors d'état de fonctionner : l'emploi de méthodes et d'outils de neutralisation et destruction des explosifs sur un engin explosif afin d'en interrompre le fonctionnement ou d'en dissocier les pièces essentielles pour éviter une détonation inopportune.

Les explosifs à forte brisance sont utilisés dans des applications militaires à haute performance. Les explosifs à faible brisance sont utilisés dans des applications commerciales comme les opérations d'extraction, afin de dissocier et de soulever/pousser des roches de la zone environnante plutôt que de les faire voler en éclats.

3.3.2. STABILITÉ

La stabilité comprend à la fois la stabilité physique et la stabilité chimique. La stabilité chimique est primordiale pour évaluer la durée de vie prévue d'un explosif.

La stabilité chimique, ou stabilité thermodynamique, définit la résistance ou la sensibilité à la décomposition d'une structure chimique. Un composé qui reste intact et non affecté par le temps peut être considéré comme stable.

La stabilité physique est la capacité à demeurer intact au fil du temps dans des conditions spécifiées et prévisibles pendant la fabrication, le stockage, la manipulation et l'utilisation. La stabilité physique revêt une importance particulière pour les propulseurs solides où des fissures dans la structure augmentent la zone superficielle, ce qui entraîne une combustion incontrôlée et imprévisible. Dans les explosifs brisants comme le TNT dans les obus d'artillerie, les fissures dans la charge peuvent provoquer une détonation accidentelle due aux forces de recul d'une ampleur considérable générées lors de la mise à feu.



NOTE. La réactivité est la capacité de réaction d'une substance en termes de stabilité. Une substance est considérée comme étant moins stable lorsque sa réactivité est élevée. Certains explosifs (par exemple l'acide picrique) génèrent des sels métalliques sensibles aux chocs dans leurs récipients en métal lorsqu'ils réagissent avec l'enveloppe métallique. Les enveloppes en cuivre et en laiton sont particulièrement problématiques avec certaines compositions explosives.

3.3.3. INTENSITÉ

L'intensité est déterminée par le volume de gaz produit et l'énergie (la chaleur) créée par l'explosion et la vitesse de détonation. Le volume gazeux détermine la charge de travail qui peut être accomplie par un explosif. La chaleur de l'explosion détermine la capacité de travail d'un explosif. En général, les explosifs secondaires génèrent beaucoup plus de chaleur que les explosifs primaires. Il faut ménager un juste équilibre entre le volume de gaz et la chaleur de l'explosion pour atteindre les performances souhaitées d'un explosif. Par exemple, les mélanges nitrate d'ammonium-fioul à usage commercial produisent un volume de gaz élevé mais une faible chaleur et sont donc utiles pour les opérations de dynamitage dans les carrières ou les mines lorsque certaines roches ne doivent pas voler en éclat. Les explosifs militaires comme le PETN présentant un volume de gaz élevé et un rendement gazeux élevé sont utilisés lorsqu'un objet peut être brisé, par exemple lors de la destruction de ponts en béton.

3.3.4. SENSIBILITÉ ET RÉACTIVITÉ

La sensibilité considère la manière dont un explosif peut être déclenché par des stimuli externes. Les stimuli qui revêtent une importance pour les explosifs sont la décharge électrostatique (étincelle), le frottement, la chaleur et la flamme, le choc et l'impact. On utilise donc la sensibilité pour préciser la fiabilité de la fonction d'un explosif, qui est importante pour les opérations de manutention en toute sécurité mais aussi pour déterminer les limites applicables à l'utilisation des explosifs.

Il y a lieu de faire la distinction entre réactivité et sensibilité. Ici, la réactivité fait référence au déclenchement accidentel d'un explosif et à la probabilité d'un déclenchement par des stimuli indésirables. Dans la mesure où les explosifs artisanaux ne sont pas normalisés, il est extrêmement important de bien appréhender leur réactivité pour des raisons de sécurité dans le maniement des explosifs.

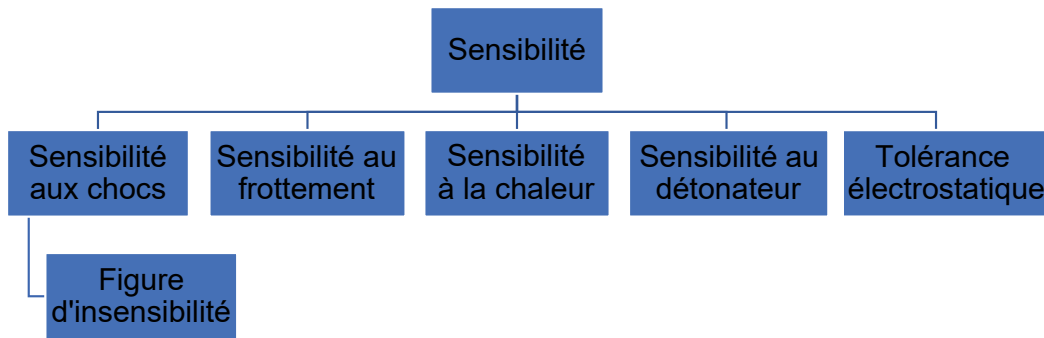


Figure 6. Aperçu des principales sensibilités utilisées pour décrire le comportement d'un explosif (source: GICHD ©)

SENSIBILITÉ AUX CHOCS

La sensibilité aux chocs désigne la sensibilité aux chocs mécaniques. L'unité physique utilisée est le Newton¹⁸ par mètre [N m] ou le Joule [J]. La sensibilité aux chocs est déterminée dans des conditions de laboratoire. On lâche un poids sur un échantillon d'explosif jusqu'à ce que l'énergie d'activation induite par la hauteur de chute (croissante) soit suffisante pour provoquer la décomposition ou l'explosion de l'échantillon.

Plus la valeur numérique est élevée, plus l'impact requis introduit par l'énergie d'amorçage est important. Le TNT a une sensibilité aux chocs d'approximativement 15 J.¹⁹ En théorie, au niveau de la mer, un poids de 1,52 kg lâché d'une hauteur d'un mètre sur un échantillon de TNT défini provoquerait une réaction. Pour le tétrazène, un explosif primaire, la valeur se situe dans une plage de 100 à 200 g pour un poids lâché d'une hauteur d'un mètre, ce qui équivaut à 1–2 J. Un explosif artisanal à base de chlorate de potassium-paraffine a une sensibilité aux chocs de 2,6 J.²⁰

Les explosifs militaires ne doivent pas être sensibles aux impacts de balles, une stricte exigence destinée à améliorer la sécurité.

SENSIBILITÉ AU FROTTEMENT

La sensibilité au frottement indique la sensibilité à des frottements induits mécaniquement. L'air et les impuretés (comme le sable) sont présents dans tout mélange explosif, solide ou liquide. Lorsqu'un stimulus est appliqué à un explosif artisanal solide, comme celui qui a été appliqué lors du broyage (compression et frottement), les poches d'air entre les particules sont comprimées. Cette compression provoque un échauffement adiabatique de 400°C à 500°C et aboutit à la formation de « points sensibles » qui peuvent seulement durer une fraction de seconde. Les points sensibles sont des réactions volatiles au niveau cristallin microscopique, leur taille étant comprise entre 10⁻³ et 10⁻⁵ mm. Ces points peuvent élever la température d'un explosif artisanal au-dessus de sa température d'allumage, ce qui provoque une déflagration ou une détonation si l'énergie générée par les points sensibles est supérieure à l'énergie perdue aux alentours dans ce laps de temps. On peut en dire de même pour la présence d'impuretés. Si ces impuretés sont petites et pointues, seule la plus petite quantité d'énergie de frottement ou d'impact sera alors nécessaire pour produire des points sensibles (lorsque l'énergie localisée est générée à l'interface située entre l'impureté et la particule explosive). Certaines compositions d'explosifs artisanaux (comme le TATP ou le chlorate de potassium-soufre) peuvent donc être extrêmement sensibles et mises à feu par le plus léger des chocs.

¹⁸ Le Newton est l'unité de mesure standard d'une force.

¹⁹ 1 Newton équivaut à un poids de 102 grammes au niveau de la mer.

²⁰ Déterminé en conditions de laboratoire, il y aura des variations.



NOTE. Le frottement peut être introduit pendant le transport d'un explosif improvisé. L'objectif doit être d'exclure ou au moins de réduire au minimum les influences externes sur l'explosif artisanal.

L'unité physique de la sensibilité au frottement est le Newton [N]. La sensibilité au frottement est déterminée dans des conditions de laboratoire en plaçant des poids sur des échantillons d'explosifs. Le poids utilisé lorsque l'échantillon commence à déflagrer, à se fissurer ou à exploser représente le niveau de sensibilité au frottement. Plus la valeur numérique est grande (le poids), plus la résistance de l'explosif à un déclenchement par frottement est forte.

Par exemple, le TNT a une sensibilité au frottement d'approximativement 353 N. Pour le tétrazène, un explosif primaire, le chiffre se situe dans la fourchette 5–8 N.

POIDS kg	FORCE N	ÉNERGIE CINÉTIQUE	
		J/N m	J/N m
	au niveau de la mer	chute d'un poids d'une hauteur de 1 mètre	chute d'un poids d'une hauteur de 2 mètres
0,1	0,981	0,981	1,962
0,2	1,962	1,962	3,924
0,3	2,943	2,943	5,886
0,4	3,924	3,924	7,848
0,5	4,905	4,905	9,81
0,6	5,886	5,886	11,772
0,7	6,867	6,867	13,734
0,8	7,848	7,848	15,696
0,9	8,829	8,829	17,658
1	9,81	9,81	19,62
1,5	14,715	14,715	29,43
2	19,62	19,62	39,24
3	29,43	29,43	58,86
4	39,24	39,24	78,48
5	49,05	49,05	98,1
10	98,1	98,1	196,2
20	196,2	196,2	392,4
30	294,3	294,3	588,6
100	981	981	1 962

Tableau 5. Aperçu de la force résultante et de l'énergie créée par la chute de poids

SENSIBILITÉ À LA CHALEUR

La sensibilité à la chaleur mesure la sensibilité à l'énergie thermique avant que la décomposition ou la détonation ne se produise. Il existe différentes méthodes de mesure, lorsqu'un explosif est exposé à la chaleur produite par des flammes, des étincelles, des objets incandescents ou la flamme initiée par une mèche lente de poudre noire.

Au-delà de l'énergie thermique induite, le processus de décomposition est affecté par le niveau de confinement. Plus le niveau de confinement est élevé, plus le processus de décomposition est rapide.

Le terme « point de déflagration » désigne la température à laquelle un explosif commence à déflagrer.

EXEMPLE : FACTEURS INFLUANT SUR LA SENSIBILITÉ À LA CHALEUR ET UN DÉCLENCHEMENT ACCIDENTEL

Compte tenu des caractéristiques des points sensibles, notamment leur taille et leur longévité, le déclenchement d'un explosif via les points sensibles nécessite plus d'énergie/de chaleur qu'un déclenchement par exposition permanente à une flamme ou à l'acier incandescent. Par exemple, le PETN, un explosif secondaire, a une température d'allumage via les points sensibles comprise entre 400°C et 430°C, alors que le point d'allumage par une source de chaleur permanente (sensibilité à la chaleur) est supérieur à 205°C.

Des additifs comme l'amadou ou l'essence peuvent diminuer et augmenter la sensibilité d'un explosif artisanal à la chaleur. Par exemple, les compositions à base de chlorate de potassium ont tendance à se déclencher accidentellement. La première raison est le point de fusion bas (356°C) et la température de décomposition (< 400°C) du chlorate de potassium chlorate lui-même. La deuxième est le point d'allumage du combustible utilisé – plus le point d'allumage du combustible est bas, plus la composition est sensible. L'adjonction de soufre (point de fusion de 119°C) diminue le point d'allumage d'une composition chlorate de potassium-soufre à 220°C. Les combustibles organiques ont tendance à déclencher l'allumage à leur température de décomposition thermique (ou à une température proche). Le lactose et le diesel provoquent des points d'allumage de 195°C et 230°C respectivement. La troisième raison est la présence d'impuretés qui s'immiscent dans la composition pendant la fabrication, qu'il s'agisse de substances telles que les acides, ou de solides à point de fusion bas comme le soufre. Ces impuretés peuvent réduire encore davantage la température de fusion et engendrer une instabilité.

SENSIBILITÉ À L'AMORCE (DÉTONATEUR)

La sensibilité à l'amorce mesure la capacité à être déclenché par une simple capsule explosive ou un détonateur. Différentes méthodes de mesure et divers tests sont utilisés.

La sensibilité à l'amorce dépend non seulement du mélange ou de la composition d'un explosif mais peut également être influencée par sa densité.

TOLÉRANCE ÉLECTROSTATIQUE

La tolérance électrostatique mesure la sensibilité au déclenchement par des émissions électriques. Celles-ci peuvent être causées par une décharge électrostatique, la fermeture d'un contact électronique ou un arc électrique.

FIGURE D'INSENSIBILITÉ (F DE I)

La figure d'insensibilité (F de I) est une méthode normalisée internationale pour exprimer la résistance d'un explosif à un amorçage par impact. Plus la valeur de F de I d'un explosif est faible, plus l'explosif est sensible. L'explosif secondaire RDX est utilisé comme explosif standard de référence pour déterminer la F de I. Le RDX a une F de I de 80.

La F de I est utilisée pour classer les explosifs: **très sensible** (F de I inférieure ou égale à 50), **sensible** (F de I comprise entre 50 et 100) et **relativement insensible** (F de I supérieure à 100).

FIGURES D'INSENSIBILITÉ	
Très sensible	F de I \leq 50
Sensible	50 > F de I < 100
Relativement insensible	F de I > 100

Tableau 6. Aperçu des figures d'insensibilité

Par exemple, le TNT a une F de I de 152, le tétrazène de 13. Un mélange improvisé comme le chlorate de potassium-sucre peut avoir une F de I comprise entre 30 et 67, en fonction du type de sucre et du pourcentage de mélange. Un explosif artisanal à base de chlorate de potassium peut ainsi présenter des caractéristiques sensibles et très sensibles.



Image 20. RDX (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

3.3.5. BILAN OXYGÈNE

Le bilan oxygène indique la quantité d'oxygène moléculaire qui reste après décomposition complète ou, éventuellement, la quantité d'oxygène manquante pour assurer une décomposition complète. Un bilan oxygène négatif aboutit à la formation de gaz toxiques, comme le monoxyde de carbone ou le monoxyde de soufre. Si le bilan est positif, aucun gaz toxique n'est formé.



NOTE. Le bilan oxygène renvoie à un explosif pur. Quelle que soit l'influence d'un bilan oxygène équilibré sur les gaz produits, la présence d'impuretés, notamment dans les explosifs artisanaux, peut conduire à la formation de gaz dangereux et toxiques.

3.3.6. CONFINEMENT

Le confinement est connu pour exercer une influence significative sur la réaction de certains explosifs à un stimulus externe lié à la chaleur. Le confinement ne permet pas l'évacuation des produits gazeux de combustion, ce qui augmente la pression à la surface de l'explosif. La vitesse de combustion est donc beaucoup plus rapide jusqu'à ce qu'un point critique soit atteint de sorte qu'une déflagration ou une détonation se produise. Certains matériaux explosifs ont tendance à brûler en milieu non confiné.

Dans des conditions appropriées (et en fonction de la sensibilité d'un explosif à la chaleur), le confinement peut forcer les explosifs secondaires exposés à la chaleur à déflagrer ou à exploser, compte tenu de l'augmentation de la pression du gaz à l'intérieur de l'enceinte de confinement (par exemple une douille). Lorsqu'il est exposé à la chaleur, cet effet peut par exemple provoquer la déflagration ou l'explosion du TNT tandis que le TNT non confiné brûlera probablement sans effet explosif. Cet effet de confinement et de chaleur sur les explosifs est appelé auto-inflammation sensible.

EXEMPLE : LES EFFETS DU CONFINEMENT

APPLICATION ILLICITE :

De la poudre noire a été découverte dans des grenades à main d'exercice inertes. Le confinement du corps d'une grenade à main est suffisant pour atteindre une augmentation soudaine de la pression générée par les gaz de combustion qui se trouvent à l'intérieur du corps en acier. Lorsque la pression dépasse un niveau critique, le corps en acier moulé se brisera et produira un schéma de fragmentation mortel. Il en va de même pour les bombes tuyaux improvisées dans lesquelles la poudre noire explose à l'intérieur d'un tube en acier hermétique.

Le confinement est utilisé pour de nombreux types d'engins explosifs improvisés afin d'améliorer leurs performances.

ACCIDENT :

L'auto-déclenchement est souvent observé lorsque des munitions confinées (par exemple les obus d'artillerie) sont exposés à des températures élevées. Dans le cas d'un engin explosif prisonnier d'un incendie ou exposé à une chaleur extrême, la pression interne augmente et peut provoquer une déflagration ou une détonation.

Cet effet représente un risque important pour les intervenants de première ligne puisqu'aucun temps de réaction ne peut être spécifié entre le début d'un incendie et le début de la décomposition.



AVERTISSEMENT. Ces effets de confinement réduisent le temps effectivement consacré à la lutte contre les incendies.

PROCÉDURES DE NEUTRALISATION :

Le découpage des engins explosifs, comme les obus d'artillerie ou les bombes d'aviation, dotés de charges explosives de cisaillement est une procédure à faible intensité courante.²¹ L'effet de cisaillement de la charge crée un vide dans l'enveloppe de munitions. Généralement, l'énergie résiduelle de la charge de cisaillement provoque la déflagration ou la combustion de la charge explosive. La combustion provoque la transition en une déflagration ou une détonation lorsque le rendement gazeux dans une enveloppe découpée est supérieur au volume de gaz qui peut s'échapper de ce vide.

²¹ La technique de destruction d'engins explosifs appliquée pour garantir la sécurité d'un engin en ne provoquant aucun effet explosif ou en provoquant un effet détonant sensiblement plus faible que l'effet pour lequel l'engin a été conçu.

3.3.7. CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES EXPLOSIFS ARTISANAUX

Les caractéristiques physiques des explosifs artisanaux ont tout autant d'importance que celles des explosifs militaires et commerciaux. Toutefois, le manque de connaissances concernant la stabilité et la sensibilité des explosifs artisanaux utilisés dans des engins explosifs improvisés constitue une grave menace pour les organisations de l'action contre les mines.

Dans la mesure où les explosifs artisanaux sont produits avec toutes les matières premières (quelles qu'elles soient) dont dispose un fabricant, leur sensibilité et leur stabilité ne sont pas constantes, mais influencées par divers facteurs. La confiance qui s'appuie sur les chiffres communiqués par les laboratoires, tel que cela se pratique avec les explosifs de fabrication industrielle, n'est donc pas recommandée. Les explosifs artisanaux sont sujets à de moindres performances en termes d'explosivité comme l'indique les chiffres des laboratoires (puisque la densité de chargement est généralement difficile à reproduire) mais sont susceptibles de déflagrer ou de détoner plus rapidement compte tenu des conditions de fabrication.

La capacité et l'aptitude (et à travers le soutien technique) à reconnaître le type d'explosif artisanal en question, à connaître ses précurseurs et à comprendre quels additifs ou impuretés il pourrait contenir permettent aux organisations de l'action contre les mines de mener une évaluation des risques basée sur les propriétés physiques attendues et les caractéristiques d'un type particulier d'explosif artisanal. Cela permet d'évaluer les moyens d'action **sûrs** et **appropriés** pour procéder à sa mise hors d'état de fonctionner.

4. PRÉCURSEURS CHIMIQUES

Cette section identifie les précurseurs chimiques des explosifs artisanaux ainsi que leurs propriétés, et fournit des informations sur les dangers explosifs et non explosifs.



NOTE. Dans la mesure où la plupart des substances chimiques mentionnées dans cette section servent à des fins légales, leur présence n'indique pas automatiquement leur utilisation dans la fabrication des explosifs artisanaux. La présence de plusieurs substances chimiques conduirait à cette hypothèse. Par exemple, le nitrate d'ammonium proprement dit peut avoir un usage licite, mais la présence de fioul ou de poudre d'aluminium sur le même site peut laisser supposer une possible fabrication d'explosifs artisanaux. La présence de peroxyde d'hydrogène et d'acétone soulèverait également des questions puisque ces substances sont des précurseurs clés pour la fabrication d'explosifs à base de peroxyde organique.



NOTE. Les informations sur la réactivité des produits chimiques présentées ici ne sont pas exhaustives. Cette section est consacrée aux types de substances chimiques fréquemment rencontrées dans les explosifs artisanaux; des informations détaillées sont disponibles dans les fiches de données de sécurité relatives aux produits chimiques.



INDICE. Des informations complètes et actualisées sur les substances chimiques peuvent être consultées dans des bases de données sur les produits chimiques, via les fiches de données de sécurité des produits chimiques (FDS) ou les fiches synthétiques sur les produits chimiques couramment utilisés en laboratoire (LCSS). Il est possible de consulter diverses sources sur Internet. Deux des sources en ligne consultées pour l'élaboration de ce chapitre sont indiquées ci-après.²² Celles-ci sont très exhaustives et fournissent des informations assez détaillées. Elles sont en accès libre et donc disponibles gratuitement.

Source FDS [Bases de données sur les substances dangereuses \(GESTIS\)](#)

Source fiches synthétiques LCSS [PubChem National Library of Medicine](#)

L'image 21 montre la contamination du sol par du TNT provenant d'un obus détruit dans le cadre d'une procédure d'élimination à faible intensité. En consultant une fiche de données de sécurité pour le TNT (exemple: [FDS TNT](#)), on peut obtenir des informations sur les dangers spécifiques associés à cet explosif (par exemple, les propriétés physiques, les données toxicologiques, les effets toxiques, les mesures de premiers secours en cas d'inhalation ou d'absorption, ou les procédures de manipulation en toute sécurité).

²² La section 16 *Autres références* renvoie à d'autres sources d'information.



Image 21. Contamination du sol par du TNT (source: GICHD ©)

On rencontre principalement les précurseurs chimiques présentés ici dans un ou deux types de situations : comme substance chimique pure couramment utilisée en laboratoire ou comme ingrédient d'un produit industriel transformé, comme le nitrate d'ammonium dans les engrais ou la poudre d'aluminium dans les peintures. Ce tour d'horizon met l'accent sur l'utilisation de ces substances chimiques pour les explosifs artisanaux et leurs dangers, explosifs ou non, sans en examiner leur origine. Concernant les explosifs artisanaux et les compositions improvisées présentés ci-dessous, ni leur efficacité ni l'utilité de leurs applications ne sont évaluées. Il s'agit ici de fournir des informations sur leurs caractéristiques et leurs dangers.



NOTE. Sauf indication contraire, les informations fournies renvoient à l'état chimique pur.



AVERTISSEMENT. Les substances qui produisent des vapeurs inflammables susceptibles de déflager ou d'exploser lorsqu'elles sont exposées à une pression accrue ne doivent être confinées dans des récipients.



AVERTISSEMENT. L'absorption, l'inhalation ou l'ingestion de vapeurs, de liquides ou de composants solides de la plupart des substances énumérées peuvent conduire à des intoxications ou être cancérogènes. Il ne faut pas sous-estimer leurs effets immédiats ou à long terme. Seules les réactions aiguës possibles, mais pas les dommages à long terme, sont énumérées. La dose létale n'est pas prise en considération. Ces informations détaillées figurent dans les bases de données sur les substances chimiques régulièrement mises à jour.

Le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH), développé par les Nations Unies, définit et classe les dangers associés aux substances chimiques, et communique des informations de santé et de sécurité sur des étiquettes et des fiches de données de sécurité. L'un des objectifs du SGH est de définir un ensemble de règles applicables à l'échelle mondiale pour classer les dangers ainsi que le format des étiquettes d'avertissement, et ce qui doit y figurer. Les critères de seuil du SGH sont les risques pour la santé, les dangers physiques et les dangers pour l'environnement.



INDICE. Les étiquettes d'avertissement régionales et/ou nationales sont disponibles sous diverses formes. Le personnel de l'action contre les mines devra les examiner en fonction du pays/de la région dans lequel/laquelle il opère ou du pays/de la région de fabrication.

En fonction de ses propriétés, l'emballage d'un produit chimique peut être identifié par un ou plusieurs pictogrammes de dangers SGH. Chaque pictogramme symbolise une alerte liée à un danger spécifique. Par exemple, le pictogramme SGH 08 avertit des risques systémiques pour la santé. Ces risques systémiques pour la santé sont la sensibilisation respiratoire, le danger d'aspiration, la cancérogénicité, la mutagénicité pour les cellules germinales ou la toxicité reproductive et la toxicité spécifique pour un organe cible. Les mentions de danger (H) du SGH précisent l'avertissement initial fourni par un pictogramme de danger et les conseils de prudence (P) spécifient les mesures nécessaires pour faire face à ces risques.²³ Les mentions, dangers et précautions à prendre sont documentés dans une fiche de données de sécurité d'un produit chimique. Les pictogrammes de dangers SGH sont énumérés dans le Tableau 7 ci-dessous.



NOTE. Si une ou plusieurs classification SGH existent pour un produit chimique, le ou les pictogrammes de danger identifiant les risques spécifiques sont inclus à titre informatif dans le présent chapitre.

	<p>SGH 01 BOMBE EXPLOSANT</p> <ul style="list-style-type: none"> • explosif instable
	<p>SGH 02 FLAMME</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substance chimique ou mélange inflammable
	<p>SGH 03 FLAMME SUR UN CERCLE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produit chimique ou mélange oxydant
	<p>SGH 05 CORROSION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substances chimiques corrosives, catégorie 1
	<p>SGH 06 TÊTE DE MORT SUR DEUX TIBIAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substances chimiques toxiques, catégorie 1–3
	<p>SGH 07 POINT D'EXCLAMATION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Substances chimiques toxiques, catégorie 4 • Substances chimiques irritantes, catégorie 2–3 • Risque systémique moindre pour la santé
	<p>SGH 08 DANGER POUR LA SANTÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risque systémique pour la santé
	<p>SGH 09 ENVIRONNEMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> • Danger pour l'environnement

Tableau 7. Liste des pictogrammes SGH et leur signification

²³ La technique de destruction d'engins explosifs appliquée pour garantir la sécurité d'un engin en ne provoquant aucun effet explosif ou en provoquant un effet détonant sensiblement plus faible que l'effet pour lequel l'engin a été conçu.

EXEMPLE : UTILISATION DES FICHES DE DONNÉES DE SÉCURITÉ ET DES CLASSIFICATIONS SGH

Le peroxyde d'hydrogène est classé par le SGH comme agent oxydant avec des propriétés corrosives et irritantes. L'étiquetage des récipients ou emballages contenant du peroxyde d'hydrogène comprend trois pictogrammes SGH de danger :



La [Fiche de données de sécurité pour le peroxyde d'hydrogène](#) fournit les mentions de danger (H) du SGH liés à ses risques spécifiques suivantes :

- H271 : Peut provoquer un incendie ou une explosion ; comburant puissant [Liquides comburants ; matières solides comburantes]
- H302 : Nocif en cas d'ingestion [Toxicité aiguë²⁴, orale]
- H314 : Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux [Corrosion cutanée/irritation cutanée]
- H332 : Nocif par inhalation [Toxicité aiguë, inhalation]

Codes des conseils de prudence fournis dans les FDS :

P210, P220, P221, P260, P261, P264, P270, P271, P280, P283, P301+P312, P301+P330+P331, P303+P361+P353, P304+P312, P304+P340, P305+P351+P338, P306+P360, P310, P312, P321, P330, P363, P370+P378, P371+P380+P375, P405 et P501

- P210 : Tenir à l'écart de la chaleur, des surfaces chaudes, des étincelles, des flammes nues et de toute autre source d'ignition – Ne pas fumer
- P220 : Tenir à l'écart des vêtements et d'autres matières combustibles
- P221 : Prendre toutes précautions pour éviter de mélanger avec des matières combustibles ...
- P260 : Ne pas respirer les poussières/fumées/gaz/brouillards/vapeurs/aérosols
- ...

Les mentions de danger et les conseils de prudence dans la FDS d'un produit chimique fournissent des informations détaillées sur la dangerosité et les mesures de sécurité requises.

²⁴ Le danger désigne les risques qui ne sont pas liés à des actions spécifiques ; l'avertissement représente les risques liés à des actions spécifiques.

Il est parfois impossible d'identifier les données SGH sur l'emballage/le contenant d'un produit chimique. Le Tableau 8, ci-dessous, propose une méthode pour une première classification des produits chimiques sans marquage.

PRODUIT CHIMIQUE SOLIDE	
PRODUIT CHIMIQUE LIQUIDE	Comme ci-dessus et incluant: 

Tableau 8. Méthode pour une première classification des produits chimiques sans marquage

Ci-après, les substances chimiques et les explosifs artisanaux sont présentés en mettant l'accent sur les informations censées soutenir les efforts d'atténuation des risques. Compte tenu des informations disponibles, le contenu sélectionné ici n'est pas exhaustif. Les informations comprendront les éléments suivants, le cas échéant :

- Nom, formule, abréviation(s) et synonyme(s);
- Image et pictogramme(s) de danger SGH;
- Applications industrielles (licites) et privées;
- Apparence;
- Comportement chimique, notamment :
 - l'inflammabilité;
 - l'aggravation des incendies existants;
 - le risque d'explosion de poussières;
 - les réactions violentes/explosives au contact d'autres substances;
 - les propriétés corrosives et caustiques;
- Comportement toxique comprenant :
 - des risques tels que des irritations, de graves lésions muqueuses, cutanées, oculaires, pulmonaires, sanguines, internes ainsi que des complications respiratoires ou des troubles du système nerveux central;
- les matériaux à ne pas utiliser/à utiliser pour le conditionnement (par exemple, en raison des réactions entre la matière et le matériau d'emballage);
- les moyens de lutte contre les incendies à ne pas utiliser/à utiliser, comme l'eau, la pulvérisation à jet d'eau, les mousses d'extinction d'incendie, les poudres d'extinction d'incendie ou le dioxyde de carbone (CO₂);
- le niveau de risque pour le milieu aquatique.²⁵

²⁵ Dangereux pour l'eau définit le degré de toxicité sur les organismes aquatiques si une substance chimique s'introduit dans le cycle de l'eau. Cela inclut les effets durables et les dangers à long terme.

4.1. PARAMÈTRES PHYSIQUES : NOTIONS DE BASE

Cette sous-section donne un aperçu des paramètres physiques influant sur la brisance, la résistance, la stabilité et la sensibilité d'un explosif artisanal.

PROPORTION DES INGRÉDIENTS

Le ratio combustible-oxydant est important pour le bilan oxygène, puisqu'il détermine si la quantité d'oxygène dans l'explosif est suffisante pour une oxydation complète. Les mélanges explosifs les plus efficaces sont ceux qui présentent un bilan oxygène nul, ou aussi proche que possible de zéro (par exemple, le dénitrate d'éthylène glycol et le nitroglycérol). Un bilan oxygène idéal assure une décomposition complète de l'explosif artisanal et une diminution de la production de gaz toxiques comme le monoxyde de carbone ou l'oxyde d'azote, qui survient lorsque l'oxygène n'est pas suffisamment disponible (un bilan oxygène négatif).

La proportion des ingrédients requis dans un explosif est déterminée par un calcul stœchiométrique²⁶. Par exemple, les gaz toxiques en tant que produit dérivé de l'utilisation d'un explosif ne sont pas souhaitables dans les applications commerciales comme l'extraction et l'exploitation minière. Par conséquent, la stœchiométrie sera utilisée pour déterminer la proportion de substances chimiques qui produisent les gaz les moins toxiques.

DEGRÉ DE MÉLANGE

Le degré de mélange crée la condition préalable à une décomposition homogène. Les explosifs improvisés mal mélangés peuvent se décomposer partiellement ou de manière incontrôlée. Par conséquent, les ingrédients peuvent être dispersés et un explosif artisanal peut ne pas réagir du tout ou son comportement à la combustion ou à la déflagration peut être imprévisible. En outre, pendant le mélange, des points particulièrement sensibles peuvent apparaître dans un explosif improvisé, ce qui peut provoquer une détonation accidentelle.



NOTE. La détonation partielle d'un explosif artisanal peut créer d'autres dangers. Il convient de respecter un délai de sécurité suite à une détonation partielle²⁷, généralement 30 minutes. L'évaluation de l'explosif doit tenir compte du fait que des débris d'explosifs improvisés peuvent être dispersés sur le lieu de destruction, et il sera nécessaire de poursuivre les opérations de neutralisation face à ces nouveaux risques potentiels.



AVERTISSEMENT. S'il est possible d'utiliser des oxydants et des combustibles identiques sur un lot entier d'explosif artisanal, les caractéristiques physiques de chaque charge principale distincte peuvent toujours varier.

DENSITÉ

La densité indique le degré de compacité d'une substance. Elle influe considérablement sur la brisance d'un explosif. Une densité optimisée garantit une vitesse de détonation maximale. Densité optimisée ne veut pas forcément dire vitesse de détonation maximale. Si la densité d'un explosif artisanal est trop élevée, certains explosifs improvisés pourraient devenir plus difficiles à déclencher à partir de stimuli

²⁶ Le calcul chimique de la masse et du volume des substances qui participent à une réaction en fonction de l'équation de réaction.

²⁷ Dangereux pour l'eau définit le degré de toxicité sur les organismes aquatiques si une substance chimique s'introduit dans le cycle de l'eau. Cela inclut les effets durables et les dangers à long terme.

externes (comme une flamme ou un choc). Pour certains explosifs de fabrication industrielle, cet effet est appelé « désensibilisation ». Par exemple, le tétrazène, le fulminate de mercure, le DDNP et les explosifs primaires à base de peroxyde sont très facilement désensibilisés, ce qui cause des problèmes de fiabilité.

SURFACE (DE L'EXPLOSIF)

Étant donné que l'oxygène nécessaire à la détonation d'un explosif est lié à l'intérieur de l'explosif, la quantité d'explosif susceptible de se décomposer par unité de temps est liée à la surface affectée de l'explosif uniquement. Par conséquent, augmenter la surface d'un explosif permet d'augmenter sa sensibilité et sa vitesse de la réaction.

TAILLE/FORME DES PARTICULES

La taille des particules affecte considérablement le taux de décomposition d'un explosif. À mesure que la granulométrie diminue, la vitesse de combustion augmente. Pour un explosif ayant la capacité d'effectuer la transition de la combustion à l'explosion, la taille des particules (en étroite coordination avec le confinement) détermine le laps de temps écoulé entre l'allumage et la détonation. Dans le cas des propulseurs, la granulométrie est un paramètre qui régule la vitesse de combustion. Lorsque la taille des particules diminue, il faut moins d'énergie pour atteindre la température d'allumage d'une charge explosive, ce qui influence également son processus de mise à feu. Par conséquent, la diminution de la taille des particules rend un explosif plus sensible et plus simple à déclencher. Elle assure l'homogénéité d'un mélange, et il est possible de mieux mélanger les combustibles à l'oxydant, ce qui augmente la brisance entre autres effets.

La taille de la surface d'un explosif dépend non seulement de sa granulométrie, mais également de sa forme. Le même explosif avec des particules sous forme de paillettes a un ratio volume-surface plus important qu'un explosif contenant des particules sphériques de dimensions et de volume identiques et présentera une meilleure réactivité. Ceci est dû au fait qu'une sphère représente le corps géométrique ayant la surface la plus petite par rapport à son volume.



AVERTISSEMENT. En général, une diminution de la taille des particules augmentera la sensibilité.

CONFINEMENT

Le confinement peut conduire à la transition de la combustion à la déflagration/détonation. En général, le confinement accélère le taux de décomposition d'un explosif improvisé puisque l'évacuation de la pression est retardée, gênée ou même bloquée. Plus le niveau de confinement est élevé et plus le matériau de confinement est résistant aux effets énergétiques de la décomposition, plus grande est la probabilité que l'explosif confiné déflagrera ou se déclencherà.

CONFIGURATION DE LA CHARGE ET DIAMÈTRE CRITIQUE

Pour qu'un explosif se décompose, la configuration de la charge doit correspondre au moins au diamètre critique d'un explosif improvisé. Le diamètre critique désigne le diamètre minimum d'une charge (cylindrique) pour laquelle la détonation d'un explosif brisant se produit encore. Le diamètre critique est fortement influencé par la structure chimique d'un explosif. On peut trouver les diamètres critiques d'une variété d'explosifs dans la documentation spécialisée; ils varient considérablement, y compris pour un même type d'explosif. Le diamètre critique est entre autres fortement impacté par le confinement, la taille des particules, la vitesse de détonation, la densité ou la température ambiante de l'explosif n'ayant pas subi de réaction. En conditions de laboratoire, le diamètre critique du mélange nitrate d'ammonium-fioul est compris entre 5 cm et 6,35 cm, bien supérieur à celui requis pour le TNT (2 mm à 1 cm).

APPARENCE

Contrairement aux explosifs militaires, qui sont en général facilement identifiés comme un composant uniforme à l'état solide, la plupart des explosifs artisanaux contiennent un mélange d'oxydant et de combustible. Ils peuvent également être solides ou liquides. Les explosifs artisanaux sont ainsi plus susceptibles d'apparaître dans différentes couleurs et tailles de particules, et de dégager des odeurs variées, que les explosifs militaires.²⁸



Image 22. Apparence d'un explosif artisanal inconnu utilisé dans une charge principale (source: FSD ©)



Image 23. Apparence d'un explosif artisanal inconnu utilisé dans une charge principale (source: BCL-YMACC ©)

²⁸ Les caractéristiques, y compris des images (le cas échéant), sont répertoriées avec les substances chimiques et les composés correspondants ci-dessous.

4.2. ACIDES

Cette sous-section est consacrée aux acides explosifs artisanaux couramment rencontrés dans la fabrication d'explosifs artisanaux.

Les acides sont nécessaires pour purifier ou synthétiser les substances; ils peuvent agir comme réactifs ou catalyseurs. Les acides organiques et inorganiques sont utilisés dans la fabrication des explosifs artisanaux. La concentration des acides varie en fonction de la source. Pour certaines procédures, une concentration minimale d'acide est requise. Par exemple, les acides utilisés pour les réactions de nitration requièrent une concentration allant de 65% à 99%. Les fabricants préfèrent généralement les acides hautement concentrés (des acides puissants comme l'acide sulfurique, l'acide nitrique ou l'acide chlorhydrique).



AVERTISSEMENT. Les acides brûleront la peau et détruiront les vêtements. En cas de déversement d'acide, il faut rincer immédiatement à grande eau et consulter un médecin dans les plus brefs délais. Les fumées produites par un acide ne doivent pas être inhalées.

Le personnel de l'action contre les mines peut rencontrer des acides dans des usines désaffectées, des sites de stockage abandonnés, ou comme déchets industriels. Les acides peuvent être toxiques et dangereux pour l'environnement. Ils émettent en général des fumées toxiques et sont corrosifs pour les matériaux organiques et inorganiques. L'eau ne doit pas être mélangée aux acides, puisque cela peut provoquer une violente réaction exothermique. L'adjonction de métaux aux acides concentrés peut également donner lieu à une réaction exothermique violente.



NOTE. Si un acide doit être dilué, celui-ci doit être ajouté à l'eau, en petites quantités et très lentement.



AVERTISSEMENT. Les résidus d'acide dans un explosif artisanal peuvent conduire à une inflammation spontanée, par exemple dans le cas de la nitrocellulose et de certaines dynamites.

ACIDE ACÉTIQUE – ORGANIQUE [C₂H₄O₂] OU VINAIGRE (DILUÉ), ACÉTATE D'HYDROGÈNE



Image 24. Acide acétique

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide acétique a un rôle important dans l'industrie chimique. Il est largement utilisé comme agent de détartrage, produit de nettoyage et sous forme moins concentrée (par exemple le vinaigre) pour un usage domestique. Le vinaigre contient rarement plus de 5% d'acide concentré. L'acide acétique est un précurseur possible pour le HMTD et le TATP.

L'acide acétique est un liquide incolore qui se cristallise à 17°C. Il dégage une forte odeur acide de vinaigre. La substance est volatile et hygroscopique.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'acide acétique liquide pur est inflammable. S'il est chauffé au-dessus de son point d'inflammabilité, ses fumées peuvent former des mélanges explosifs avec l'oxygène atmosphérique.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide acétique entre en contact avec, par exemple, du peroxyde d'hydrogène ou d'autres acides ou oxydants puissants.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide acétique a un effet de plus en plus irritant (à corrosif) sur les muqueuses et la peau à mesure que la concentration augmente. De graves lésions oculaires et pulmonaires peuvent se produire en cas d'exposition à de fortes concentrations.

L'acide acétique ne doit pas être stocké dans des récipients en laiton, en cuivre, en fer ou en zinc. Les récipients appropriés sont en aluminium, en verre ou en polyéthylène (PE).

L'acide acétique présente peu de risques pour l'environnement aquatique.²⁹



NOTE. Hygroscopique signifie qui a des affinités avec l'eau. Les substances hygroscopiques absorbent les vapeurs d'eau même contenues dans l'air, pour former une solution saturée. Les solides hygroscopiques commencent à se condenser. Un matériau (ou sa surface) peut même s'assouplir ou se liquéfier si suffisamment d'eau est absorbée. L'absorption d'eau peut réduire la réactivité et la sensibilité de la substance affectée.



NOTE. Le point d'inflammabilité est la température minimale à laquelle une substance volatile s'évapore pour former un mélange inflammable au contact de l'air en présence d'une source ignée et continue de brûler après le retrait de la source de déclenchement.³⁰

²⁹ Dangereux pour l'eau définit le degré de toxicité sur les organismes aquatiques si une substance chimique s'introduit dans le cycle de l'eau. Cela inclut les effets durables et les dangers à long terme.

³⁰ Joaquín Isac-García et al., *Experimental Organic Chemistry – Laboratory Manual* (Academic Press, 2015).



Image 25. Acide citrique

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide citrique est utilisé pour créer une saveur acidulée dans les boissons et les aliments, dans les détartrants, comme adoucisseur d'eau, et dans les cosmétiques et les produits pharmaceutiques. L'acide citrique est un précurseur possible pour le HMTD.

L'acide citrique est un solide inodore blanc, sous forme de poudre ou de cristal. Il est facilement soluble dans l'eau, où il peut dégager une légère odeur d'agrumes.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'acide citrique pur présente un léger risque d'incendie lorsqu'il est exposé à la chaleur ou aux flammes. Une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide citrique entre en contact avec des oxydants, des agents réducteurs ou des métaux, par exemple. Une réaction explosive peut se produire si de l'acide citrique est mélangé à des sels métalliques.³¹ L'acide citrique pulvérisé peut déclencher une explosion de poussières.³²

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide citrique peut provoquer des irritations et avoir un effet caustique sur les yeux et un effet irritant sur les voies respiratoires supérieures.

L'acide citrique ne doit pas être stocké dans des récipients en métaux de base. Les récipients en verre ou en acier sont acceptables.

Il ne présente aucun risque pour l'eau et les retenues d'eau.

³¹ Les caractéristiques, y compris des images (le cas échéant), sont répertoriées avec les substances chimiques et les composés correspondants ci-dessous.

³² Voir la sous-section 4.4.2. Combustibles solides.



Image 26. Acide chlorhydrique présentant une qualité de laboratoire

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide chlorhydrique est un produit important pour l'industrie chimique, pharmaceutique et galvanique, où il est utilisé sous forme extrêmement concentrée pour le décapage de l'acier (les oxydes métalliques à partir des surfaces d'acier/de fer). En biologie, l'acide chlorhydrique est un composant important du suc gastrique humain et animal. En tant qu'acide minéral fort, il est utilisé comme réactif dans la fabrication des explosifs artisanaux. L'acide chlorhydrique est un liquide incolore-jaunâtre qui dégage une forte odeur.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'acide chlorhydrique est extrêmement corrosif et réagit au contact de l'oxygène atmosphérique environnant, pour former des fumées acides caustiques qui sont plus lourdes que l'air. Une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide chlorhydrique entre en contact avec des métaux alcalins et des matières organiques.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide chlorhydrique a un effet irritant et corrosif sur les yeux, les voies respiratoires et la peau. Il existe un risque de lésions oculaires et pulmonaires graves. L'acide chlorhydrique libère des fumées toxiques qui peuvent rapidement paralyser les personnes qui y sont exposées. En cas d'ingestion, il faut immédiatement consulter un médecin.

L'acide chlorhydrique ne doit pas être stocké dans des récipients en métal. Les récipients en verre, en PE ou en PVC (polychlorure de vinyle) sont appropriés.

L'acide chlorhydrique présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



NOTE. Les métaux alcalins sont le lithium, le sodium, le potassium, le rubidium, le césium et le francium. Ce sont des éléments mous, inflammables et très réactifs (parfois explosifs). Ils s'enflamment lorsqu'ils sont chauffés dans l'air ou en combinaison avec de l'oxygène, et réagissent violemment au contact de l'humidité pour former de l'hydrogène (qui peut s'enflammer à partir de la chaleur de la réaction) et une fumée d'hydroxyde (corrosive) correspondante. Les métaux alcalins chauffés se consomment eux-mêmes dans l'air atmosphérique et fondent. Sous forme de poudre et de poussière, les métaux alcalins peuvent s'enflammer spontanément à température ambiante (20°C). En général, les métaux alcalins réagissent très violemment au contact de l'eau. Ils ne coulent pas mais flottent et tournoient à la surface de l'eau avec l'apparition d'un feu et d'explosions. Leur réaction avec l'eau forme un gaz hydrogène facilement inflammable qui peut s'enflammer, et un hydroxyde fortement corrosif. Des explosions sont possibles dans des espaces fermés/en milieu confiné. Les mélanges corrosifs qui peuvent se former au contact de l'eau sont toujours efficaces même dilués.

PEROXYDE D'HYDROGÈNE – INORGANIQUE [H₂O₂]



Image 27. Peroxyde d'hydrogène 30%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le peroxyde d'hydrogène présente de nombreuses possibilités d'utilisation, à la fois dans l'industrie et dans les foyers. Il est utilisé comme décolorant et désinfectant. Le peroxyde d'hydrogène concentré est utilisé dans les propulseurs, par exemple le propergol liquide, mais aussi pour fabriquer des explosifs improvisés à base de peroxyde organique comme le HMTD, le peroxyde de méthyléthylcétone (MEKP) et le TATP.

En fonction de sa concentration, le peroxyde d'hydrogène passe d'un liquide incolore à un liquide bleu pâle. Il présente une faible volatilité.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le peroxyde d'hydrogène proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, parfois sans autre source d'ignition. Il est susceptible d'attiser un incendie existant, compte tenu du volume d'oxygène dans sa structure. Le peroxyde d'hydrogène présentant une concentration supérieure à 8% ne doit pas entrer en contact avec des tissus ou du cuir.

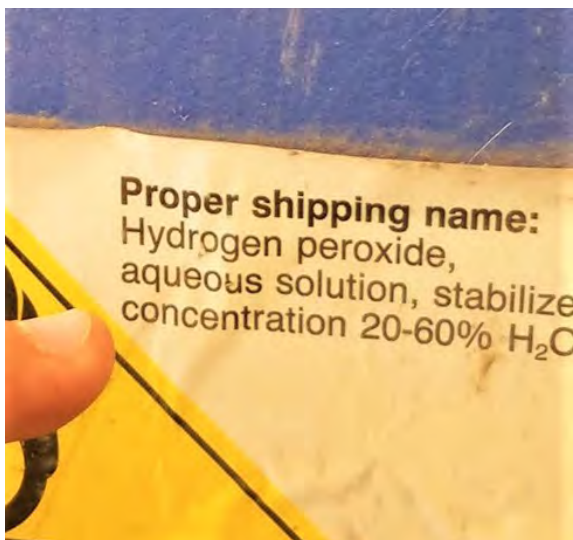


Image 28. Récipient de peroxyde d'hydrogène (découvert sur le terrain)

(source : GICHD ©)

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du peroxyde d'hydrogène entre en contact avec, par exemple, de l'acétone, de l'acide acétique, des fibres de coton, des matières inflammables, de la glycérine, de l'hydrazine, des poudres métalliques, de l'acide nitrique, du nitrométhane, de l'acide sulfurique ou du bois.

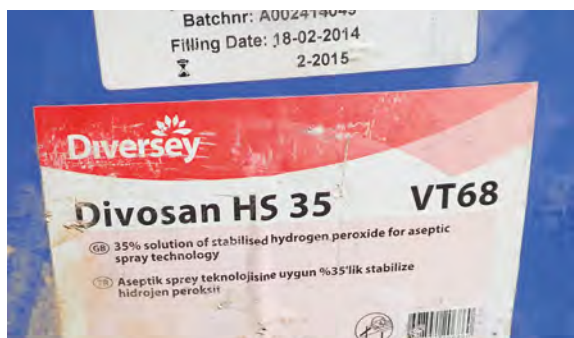


Image 29. Baril de peroxyde d'hydrogène (découvert sur le terrain)
(source : CAR ©)

COMPORTEMENT TOXIQUE

En fonction de sa concentration, le peroxyde d'hydrogène peut provoquer des irritations et avoir un effet corrosif sur la peau, les muqueuses et les yeux, mais aussi une inflammation des voies respiratoires. Dans des cas extrêmes, il provoque des lésions pulmonaires en présence de fortes concentrations de vapeurs/d'aérosols. En cas d'ingestion, le peroxyde d'hydrogène peut former des bulles de gaz mortelles dans le sang.

Le peroxyde d'hydrogène ne doit pas être stocké dans des récipients en laiton, en bronze, en cuivre ou en fer. Les récipients en verre, en PE (concentration < 60%) ou en PVC (concentration < 60%) sont acceptables.

Le peroxyde d'hydrogène présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



NOTE. Le peroxyde d'hydrogène est un oxydant puissant étant donné que sa structure chimique contient 94% en masse d'oxygène. Tout contenant de peroxyde d'hydrogène mentionnant une concentration supérieure à 35% doit être considéré comme suspect et être signalé.



AVERTISSEMENT. Tout contact entre du peroxyde d'hydrogène et des substances chimiques organiques (par exemple l'acide formique) peut entraîner de violentes réactions de décomposition explosive.

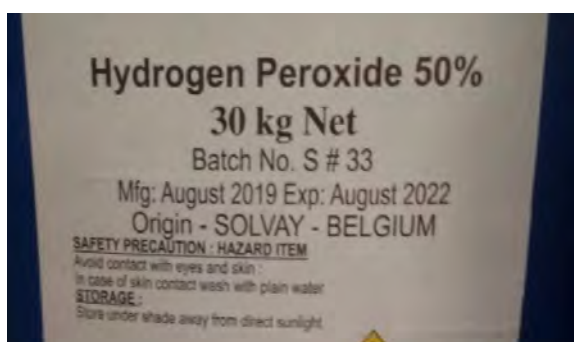


Image 30. Peroxyde d'hydrogène 50% vu au Yémen
(source : BCL ©)

ACIDE NITRIQUE – INORGANIQUE [HNO₃] OU AQUA FORTIS, EAU FORTE, NITRATE D'HYDROGÈNE, ACIDE NITRIQUE FUMANT ROUGE (RFNA), ACIDE NITRIQUE BLANC



Image 31. Acide nitrique 65%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 32. Acide nitrique 100%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide nitrique est largement utilisé dans l'industrie chimique. Il est fondamental dans la fabrication de nombreux explosifs en tant que principal agent nitrant. Il est utilisé pour produire des nitrates et des engrais, séparer l'or et l'argent, et employé dans l'industrie galvanique et l'industrie de la peinture (peintures nitro). Hautement concentré, l'acide nitrique est utilisé comme oxydant dans les explosifs liquides (par exemple la hellhoffite) ou le propergol liquide (RFNA/WFNA). L'acide nitrique utilisé dans la fabrication d'explosifs a une concentration comprise entre 70% et 99%. Plus la concentration est élevée, plus la réaction de nitration est volatile.

Les nitrates organiques – esters de nitrate – sont des composés qui peuvent se décomposer de façon explosive. Par conséquent, les esters de polyalcool peuvent être/sont utilisés en tant qu'explosifs.



INDICE. La présence d'une source de nitrates et d'un puissant acide minéral peut indiquer la fabrication d'acide nitrique.

L'acide nitrique, en fonction de sa concentration, est incolore-jaunâtre. En plein soleil, il se décompose et devient rouge. L'acide nitrique a une forte odeur. Il s'évapore pour dégager des fumées brun-rougeâtre.

COMPORTEMENT CHIMIQUE (CONCENTRATION > 65%):

L'acide nitrique est inflammable mais est susceptible d'attiser un incendie existant. Il accroît le risque d'incendie au contact de substances inflammables. L'acide nitrique est sensible à l'air environnant. Il s'agit d'un puissant oxydant et d'un puissant acide.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide nitrique entre en contact avec de l'acide acétique, de l'acétone, de l'ammoniac, des substances inflammables, du fioul, de l'hydrazine, du peroxyde d'hydrogène, des poudres métalliques, du nitrométhane, des substances organiques à grande surface (par exemple la sciure fine) et du chlorate de potassium.



AVERTISSEMENT. Si de l'acide nitrique entre en contact avec de la sciure, des copeaux de bois, de la laine de nettoyage, du papier, des résidus de coton, de la cellulose ou d'autres matériaux organiques finement dispersés, des gaz nitreux toxiques (oxydes d'azote) se forment. En fonction des conditions environnantes, des incendies, une combustion spontanée ou même des explosions sont possibles. Le fulmicoton a été découvert par hasard de cette manière lorsqu'un chiffon de coton utilisé pour essuyer de l'acide nitrique déversé s'est enflammé alors qu'il commençait à sécher.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide nitrique a un effet irritant et corrosif sur les yeux, les voies respiratoires et la peau. Ses fumées peuvent provoquer une asphyxie. Un contact non protégé présente un risque de graves lésions oculaires et pulmonaires.

L'acide nitrique ne doit pas être stocké dans des récipients en métaux de base. Les récipients utilisables doivent être en verre brun, en PE, en polypropylène (PP) ou en PVC.

Il faut éviter de déverser de l'acide nitrique dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol, puisqu'il est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique.

ACIDE PERCHLORIQUE – INORGANIQUE [HClO₄]



Image 33. Acide perchlorique 71%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide perchlorique est utilisé comme réactif analytique et dans la production de pesticides, d'explosifs et de carburant pour fusée.

L'acide perchlorique est un liquide incolore et inodore. Il est hygroscopique et volatile, et générera des vapeurs toxiques et explosives au contact de l'air. L'acide perchlorique concentré à 50% peut exploser s'il est chauffé. Cet acide peut se décomposer de manière explosive sans cause identifiable.

COMPORTEMENT CHIMIQUE (CONCENTRATION COMPRISE ENTRE 50% ET 72%)

L'acide perchlorique n'est pas inflammable mais peut servir de source d'oxygène pour un feu existant. Il augmente le risque d'incendie au contact de substances inflammables. La réaction avec ces substances peut entraîner une inflammation spontanée. L'acide perchlorique pur peut exploser violemment lorsqu'il est chauffé au-delà de 75°C.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide entre en contact avec de l'alcool, des substances inflammables, de l'acide sulfurique, du charbon, des métaux, de la glycérine, de la sciure, de l'acide nitrique ou une source de chaleur.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide perchlorique a un effet très irritant et très corrosif sur les muqueuses et la peau. Il y a un risque de graves lésions oculaires irréversibles.

L'acide perchlorique ne doit pas être stocké dans des récipients en métaux de base. Les récipients utilisables sont ceux qui sont fabriqués à partir de verre, de PE, de PP ou de PVC.

L'acide perchlorique présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

ACIDE PICRIQUE – ORGANIQUE [C₆H₃N₃O₇] OU 2,4,6-TRINITROPHÉNOL



Image 34. Acide picrique

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide picrique est un acide puissant et un explosif homogène qui a été utilisé comme l'une des principales charges explosives dans les grenades, les obus de mortier et les tirs d'artillerie au début du 20^{ème} siècle. Compte tenu de sa tendance à réagir avec des enveloppes métalliques (par exemple les obus d'artillerie), ce qui entraîne la formation de sels de picrate explosifs et sensibles, il n'est plus utilisé par les militaires. Aujourd'hui, il est principalement utilisé dans les compositions d'explosifs primaires dans les détonateurs. L'acide picrique est un solide cristallisé jaune clair, brillant, inodore au goût amer. Il est peu soluble dans l'eau mais soluble dans l'alcool, l'ester, le benzène et l'acétone.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'acide picrique est un solide explosif qui présente une sensibilité aux chocs de 7 à 8 J et une sensibilité au frottement pouvant aller jusqu'à 353 N. Il réagit par impact ou frottement, sous l'effet de la chaleur ou d'autres sources d'ignition avec une rapide décomposition et la formation de grandes quantités de gaz.

Une explosion peut se produire lorsque de l'acide picrique pur entre en contact avec de l'aluminium, de l'ammoniac, des métaux, des oxydants en général, ou du potassium.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'absorption d'acide picrique provoque une irritation des yeux et des muqueuses nasales, une coloration de la peau non protégée, des troubles gastro-intestinaux, des troubles nerveux ainsi que des troubles sanguins, rénaux et hépatiques.

L'eau est un agent d'extinction d'incendie approprié pour l'acide picrique.

Toutefois, l'acide picrique est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique; il convient donc d'éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.



AVERTISSEMENT. L'acide picrique forme des picrates avec quasiment tous les métaux. Les picrates ont une structure cristalline, et presque tous possèdent des propriétés explosives. Ils sont plus sensibles que l'acide picrique. Pour les picrates moins stables, une fissure dans leur structure cristalline, causée par exemple par un choc ou un frottement, induit suffisamment d'énergie pour provoquer leur décomposition explosive. La sensibilité de nombreux sels de picrates métalliques est telle qu'ils peuvent se déclencher même humides. En 1916, par exemple, un incendie dans une usine de munitions française a provoqué une infiltration d'acide picrique fondu dans le sol en béton. Le picrate de calcium qui s'est formé a explosé pendant le nettoyage, tuant 170 personnes.³³

³³ Louis A. Medard, Explosions accidentelles, Volume 2 : les différents types de substances explosives, (New York : John Wiley & Sons, 1989), 739.



Image 35. Acide sulfurique concentré à 100%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acide sulfurique est utilisé dans les batteries au plomb et certains nettoyeurs pour canalisations. C'est un catalyseur couramment utilisé dans la fabrication de différents explosifs artisanaux.

L'acide sulfurique est un liquide incolore et inodore. Lorsqu'il est impur, il a une couleur brunâtre. Il est hygroscopique et non volatil.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'acide sulfurique entre en contact avec des métaux alcalins ou des métaux tels que l'aluminium (une diminution de la taille des particules accélère la réaction), des matières inflammables, du peroxyde d'hydrogène, des chlorates, des nitrates, de l'acide nitrique. Une réaction au contact de l'eau dégage des fumées toxiques.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acide sulfurique a un effet très irritant et très corrosif sur les muqueuses et la peau, avec un risque de graves lésions oculaires et pulmonaires irréversibles.

L'acide sulfurique ne doit pas être stocké dans des récipients en métaux de base. Les récipients utilisables doivent être en verre, en PE, en PP ou en PVC.

L'acide sulfurique présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



AVERTISSEMENT. Mélanger de l'acide sulfurique concentré à de la soude caustique concentrée (hydroxyde de sodium) génère un échauffement si intense que le contenant risque de déborder par bouillonnement et que du liquide corrosif pourrait se déverser.

4.3. OXYDANTS

Cette sous-section donne un aperçu des oxydants communément utilisés dans la fabrication d'explosifs artisanaux, notamment :

- le groupe des nitrates (sels et esters d'acide nitrique);
- le groupe des chlorates (sels d'acide chlorique);
- le groupe des perchlorates (sels d'acide perchlorique); et
- les oxydants n'appartenant pas à l'un des groupes susmentionnés.

Les oxydants sont des substances qui sont combinées à un combustible pour produire un matériau énergétique. Un oxydant est une substance ayant un déficit en électrons. Il fournit la source d'oxygène nécessaire à une explosion, rendant ainsi la détonation indépendante de l'oxygène atmosphérique.

Plus il y a d'oxygène lié à la structure explosive, plus l'effet énergétique est important. Les oxydants constituent donc la principale variable affectant le processus de fabrication d'un explosif artisanal, ainsi que les caractéristiques physiques et les performances ultérieures de l'engin.

CARACTÉRISTIQUES

Les caractéristiques d'intérêt des oxydants se déclinent comme suit :

- Le composé peut ne pas être inflammable tout seul, et nécessite un combustible pour initier le processus.
- Les agents oxydants sont généralement des solides ioniques riches en oxygène qui se décomposent à des températures modérées à élevées, libérant ainsi l'oxygène gazeux au passage.
- De nombreux oxydants sont facilement disponibles, sous une forme relativement pure, dans une taille de particules appropriée et à un coût raisonnable.
- Les oxydants augmentent le risque d'incendie au contact de substances inflammables et sont susceptibles d'attiser un incendie existant.
- Les oxydants peuvent réagir si violemment au contact de substances inflammables qu'ils peuvent les faire s'enflammer, parfois juste par contact, sans nécessiter d'autre source d'ignition.



AVERTISSEMENT. Les agents oxydants peuvent déclencher des incendies par simple contact avec des matériaux organiques comme le bois, le papier et le carton.

4.3.1. GROUPE DES NITRATES

Les nitrates sont les sels ou les esters de l'acide nitrique. Ils sont peu sensibles aux chocs et aux frottements bien que, une fois ajoutés à un combustible approprié comme l'aluminium, ils peuvent générer des mélanges explosifs viables. Certains nitrates sous leur forme pure peuvent exploser si on leur donne une impulsion suffisante comme un choc.

NITRATE D'AMMONIUM [NH₄NO₃]



Image 36. Granules de nitrate d'ammonium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 37. Nitrate d'ammonium fin

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 38. Cristaux de nitrate d'ammonium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate d'ammonium est un sel d'ammoniac et d'acide nitrique blanc cristallin largement utilisé dans les engrais, les mélanges réfrigérants (pains de glace) et les produits anesthésiants (production d'oxyde nitreux), et constitue la matière première la plus importante dans la fabrication d'explosifs commerciaux. Le nitrate d'ammonium pur à usage commercial contient environ 33,5% en masse d'azote. Il a une température de fusion d'environ 170°C, se décompose à 210°C et sa combustion peut provoquer des explosions en grandes quantités sans confinement,³⁴ comme dans le cas récent de la déflagration à la détonation de plus de 2 700 tonnes de nitrate d'ammonium dans le port de Beyrouth, le 4 août 2020.

Le nitrate d'ammonium est également utilisé pour modifier la vitesse de détonation d'autres explosifs, comme la nitroglycérine dans ce qu'on appelle la dynamite nitratée, ou comme agent oxydant dans l'ammonal, mélange de nitrate d'ammonium et d'aluminium en poudre. La plupart des compositions d'explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium sont généralement insensibles au déclenchement par un détonateur seul et nécessitent un confinement et un booster. Elles ont une faible vitesse de détonation et sont donc inadaptées pour propulser des projectiles anti-blindés comme des charges creuses et des projectiles formés par explosion. Elles ne sont pas faciles à amorcer en petites quantités mais réagissent bien à une impulsion spécifique semblable à celle du TNT. C'est notamment pour cette raison qu'elles sont utilisées pour des applications nécessitant l'utilisation d'explosifs.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate d'ammonium proprement dit ne brûle pas mais augmente le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Il est susceptible d'attiser un incendie existant. Le nitrate d'ammonium pur et sec peut exploser mais sa flegmatisation avec plus de 3% d'eau permettra d'éviter ce risque.

Le nitrate d'ammonium est extrêmement hygroscopique et ses cristaux sont souvent recouverts de substances inertes pour prévenir le risque de liquéfaction et d'agglutination. Le nitrate d'ammonium pur est difficile à faire détoner seul. Par conséquent, un explosif artisanal à base de nitrate d'ammonium est généralement un mélange de nitrate d'ammonium avec un combustible organique ou métallique. Le combustible réagit avec l'excédent d'oxygène libéré pendant la combustion pour produire du gaz et de la chaleur supplémentaires.



AVERTISSEMENT. Le nitrate d'ammonium est totalement incompatible avec les chlorates, compte tenu de la formation de chlorate d'ammonium – un explosif spontané physiquement instable en présence d'humidité.

Une explosion ou une violente réaction peut se produire lorsque du nitrate d'ammonium pur entre en contact avec des métaux alcalins, des métaux pulvérulents (par exemple l'aluminium), de l'acide acétique, de l'ammoniac, des substances combustibles, des substances organiques, de l'eau, des chlorates, des chlorures, de l'urée, du nitrate de sodium, du soufre ou du phosphore.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrate d'ammonium est une substance oxydante, qui est nocive en cas d'ingestion ou d'inhalation et provoque une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Lorsqu'il se décompose, il produit de l'oxyde nitreux, un sous-produit toxique de la combustion.

Le nitrate d'ammonium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

³⁴ United States Environmental Protection Agency, *Chemical Advisory: Safe Storage, Handling, and Management of Ammonium Nitrate*. EPA 550-S-13-001, August 2013.

NITRATE DE BARYUM [Ba(NO₃)₂]



Image 39. Nitrate de baryum

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de baryum est principalement utilisé pour fabriquer des produits pyrotechniques mais a été utilisé avec du TNT dans un explosif appelé Baratol, ou avec de la thermite pour former du thermate. Il n'a aucun usage domestique légitime.

Le nitrate de baryum pur est une substance cristalline incolore et inodore. Il est hygroscopique, soluble dans l'eau et produit une flamme verte lorsqu'il est brûlé avec d'autres substances.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate de baryum proprement dit ne brûle pas mais augmente le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Le nitrate de baryum est susceptible d'attiser un incendie existant, en tant qu'oxydant.

Une explosion ou une violente réaction peut se produire lorsque du nitrate de baryum pur entre en contact avec du nitrate d'ammonium, du charbon, de la thermite, du soufre, des substances combustibles ou des acides.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrate de baryum peut avoir un effet irritant sur la peau et les muqueuses. En cas d'ingestion, il peut être mortel ou provoquer des crampes musculaires et des troubles sanguins, gastro-intestinaux et cardiovasculaires.

Le nitrate de baryum présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

NITRATE DE PLOMB (II) [Pb(NO₃)₂]



Image 40. Nitrate de plomb (II)

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de plomb (II) n'a aucun usage industriel ou domestique.

Le nitrate de plomb (II) est un solide ou une poudre cristallin(e) blanchâtre inodore. Il se dissout très bien dans l'eau et ne brûle pas en tant que substance pure.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une violente réaction peut se produire lorsque du nitrate de plomb (II) pur entre en contact avec de l'ammonium, du carbone, de fines poudres métalliques ou des substances organiques combustibles.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrate de plomb (II) peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, des troubles du système nerveux central et des troubles hématologiques.

Le nitrate de plomb (II) est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique. Par conséquent, il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol, même en faibles quantités.

NITRATE DE POTASSIUM [KNO₃] OU SALPÊTRE, NITRATE DE POTASSE³⁵



Image 41. Nitrate de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de potassium, ou « salpêtre », est l'oxydant solide le plus ancien ; c'est un composant de poudre noire. Il est utilisé dans les produits pyrotechniques, les engrais et les verres fondus. Il est également utilisé comme sel de salaison dans la conservation des aliments.

Le nitrate de potassium est une substance cristalline transparente incolore-blanche au goût frais-amer. Il n'est pas hygroscopique. Les cristaux se dissolvent dans l'eau et la glycérine.



Image 42. Exemple de conditionnement d'engrais à base de nitrate de potassium (source : CAR ©)

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate de potassium proprement dit ne brûle pas mais accroît le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Le nitrate de potassium est susceptible d'attiser un incendie existant.

Le nitrate de potassium n'est pas susceptible d'exploser seul, même lorsqu'un puissant stimulus est appliqué.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du nitrate de potassium pur entre en contact avec des métaux pulvérulents (par exemple le potassium, le magnésium) ou des combustibles tels que le charbon, le soufre, le phosphore rouge, le phosphore blanc ou les catalyseurs acides.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'ingestion de nitrate de potassium peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, des maux de tête, une vasodilatation, et perturber la formation de méthémoglobine.

Le nitrate de potassium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

³⁵ La potasse ou carbonate de potassium K₂CO₃ est le sel de l'acide carbonique.

NITRATE D'ARGENT [AgNO₃]



Image 43. Nitrate d'argent

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate d'argent sert à diverses utilisations dans les domaines pharmaceutique et médical. Il est utilisé dans l'industrie galvanique pour l'argenteure, pour le miroir d'argent par exemple.

Le nitrate d'argent est une substance cristalline incolore blanche-transparente qui a un goût extrêmement amer. Il est soluble dans l'eau. En cas de contact avec la peau et les tissus organiques, il provoque l'apparition de taches noires.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate d'argent proprement dit ne brûle pas mais augmente le risque d'incendie au contact des matériaux combustibles. Il est susceptible d'attiser un incendie existant.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du nitrate d'argent pur entre en contact avec de l'ammoniac, du charbon, des substances combustibles, du peroxyde d'hydrogène, du phosphore, des métaux pulvérulents (par exemple le magnésium), du soufre ou de l'acide nitrique.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrate d'argent est extrêmement toxique. Il peut avoir un effet irritant sur la peau et les muqueuses ; en cas d'ingestion de fortes doses, il peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, des troubles du système cardiovasculaire et des troubles du système nerveux central.

Le nitrate d'argent est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique ; il faut éviter d'en déverser même en faibles quantités dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

NITRATE DE SODIUM [NaNO₃] OU SOUDE



Image 44. Nitrate de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de sodium, ou « salpêtre du Chili », est utilisé dans les engrais, en tant qu'oxydant pour le verre et l'émail, et comme composant pour les explosifs, comme les propulseurs de roquettes.

Le nitrate de sodium est une substance cristalline blanche ou jaune, inodore et hygroscopique, qui se dissout facilement dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate de sodium proprement dit ne brûle pas mais accroît le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Il est susceptible d'attiser un incendie existant. La chaleur ou les frottements peuvent le faire s'enflammer.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du nitrate de sodium pur entre en contact avec des métaux pulvérulents, des substances organiques, du charbon ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'exposition au nitrate de sodium peut provoquer des troubles gastro-intestinaux et une vasodilatation. En cas d'intoxication grave, il peut perturber la formation de méthémoglobine dans le sang.

Le nitrate de sodium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

NITRATE DE STRONTIUM [Sr(NO₃)₂]



Image 45. Nitrate de strontium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de strontium est utilisé dans les produits pyrotechniques pour produire une flamme rouge. Il est également utilisé dans les générateurs de gaz, par exemple dans les airbags.

Le nitrate de strontium est une substance cristalline incolore, blanche-transparente. Il est facilement soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le nitrate de strontium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition. Le nitrate de strontium peut attiser un incendie existant.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du nitrate de strontium pur entre en contact avec des métaux pulvérulents (par exemple le magnésium), du soufre et des matières combustibles.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrate de strontium peut avoir un effet irritant sur la peau et les muqueuses. En cas d'intoxication grave – par exemple en cas d'ingestion – le nitrate de strontium peut provoquer des troubles gastro-intestinaux et une vasodilatation, et perturber la formation de méthémoglobine.

Le nitrate de strontium ne doit pas être stocké dans des récipients en PVC.

Il présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.3.2. GROUPE DES CHLORATES

Les chlorates sont les sels d'acide chlorique (HClO_3). Ils sont plus sensibles aux impacts que les nitrates.

CHLORATE DE BARYUM [$\text{Ba}(\text{ClO}_3)_2$]



Le chlorate de baryum est utilisé dans les produits pyrotechniques mais son importance a diminué parce que sa présence dans les mélanges pyrotechniques le rend extrêmement sensible aux chocs et aux frottements. Le chlorate de baryum produit des flammes vertes.

Le chlorate de baryum est une substance cristalline ou poudreuse incolore et inodore. Il est hygroscopique et soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le chlorate de baryum proprement dit ne brûle pas mais réagit violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition. Le chlorate de baryum peut attiser un incendie existant.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du chlorate de baryum pur entre en contact avec des acides, des matières combustibles, de l'acide sulfurique concentré, des substances organiques, du phosphore, du charbon pulvérisé, des métaux pulvérulents ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le chlorate de baryum peut avoir un effet irritant sur la peau et les muqueuses. Il peut provoquer des crampes musculaires, des troubles cardiovasculaires et gastro-intestinaux, et endommager les vaisseaux sanguins.

Le chlorate de baryum présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

CHLORATE DE POTASSIUM [KClO₃]



Image 46. Chlorate de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le chlorate de potassium est utilisé dans les pesticides, les explosifs, les feux d'artifice et les allumettes. Les impuretés telles que le phosphore rouge, le soufre ou les métaux pulvérulents peuvent conduire à sa combustion spontanée et, en fonction du type de combustible et du niveau de confinement, le faire exploser. Par conséquent, son utilisation dans les compositions pyrotechniques a considérablement diminué au fil des ans.

Le chlorate de potassium est une substance inodore incolore-blanc qui peut avoir une forme cristalline, poudreuse ou granulée. Il se dissout facilement dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le chlorate de potassium proprement dit ne brûle pas mais réagit violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition.

Le chlorate de potassium peut attiser un incendie existant. Les mélanges intenses avec des substances inflammables comme des substances organiques ou des poudres métalliques peuvent exploser par frottement ou léger impact.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du chlorate de potassium pur entre en contact avec de l'ammoniac, des matières combustibles, de l'éthanol, des acides organiques, de la paraffine, de l'essence, des composés du potassium, des métaux pulvérulents (aluminium, magnésium, potassium) ou du phosphore rouge.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le chlorate de potassium peut provoquer des effets très irritants sur les muqueuses, notamment les yeux. Il peut avoir un effet irritant sur la peau.

Le chlorate de potassium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

Le chlorate de potassium est couramment utilisé dans la fabrication d'explosifs artisanaux. Le Tableau 9, ci-dessous, compare sa sensibilité combinée avec des additifs courants (combustibles) à celle d'autres explosifs primaires et secondaires.

COMPOSITION EXPLOSIVE	TEMPÉRATURE DE FUSION/D'IGNITION OU POINT DE DÉFLAGRATION* (°C)	F DE I
Chlorate de potassium–nitrate d'ammonium	< 100*	10 (avec la formation de chlorate d'ammonium)
Fulminate de mercure	165*	10
Styphnate de plomb	275–280*	12
Tétrazène	140*	13
Azoture de plomb	320–360*	20
Nitrocellulose (sèche @ 13,4% N)	132	23
Chlorate de potassium–soufre	220	28 (dans les conditions stœchiométriques)
Chlorate de potassium–sucre	195	30–67 (en fonction du type de sucre et du pourcentage de mélange)
Nitroglycérine	13 (200*)	30
Chlorate de potassium–charbon	335	35 (dans les conditions stœchiométriques)
Chlorate de potassium–charbon–sucre	275	35 (dans les conditions stœchiométriques)
Chlorate de potassium–fioul	230	50 (dans les conditions stœchiométriques)
PETN	141,3 (202*)	51
RDX	213 (260*)	80
Poudre noire	450 (pour une proportion d'ingrédients de 75/15/10)	90
TNT	80,8 (300*)	152

Tableau 9. La sensibilité du chlorate de potassium et des additifs par rapport à d'autres explosifs primaires et secondaires (classée par F de I) (source: BCL ©)

CHLORATE DE SODIUM [NaClO₃]



Image 47. Chlorate de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le chlorate de sodium est utilisé comme agent blanchissant pour le papier, dans les chalumeaux soudeurs, comme matière première dans les pesticides et comme générateur d'oxygène chimique (chandelles de chlorate) utilisé dans l'exploitation minière ou l'aviation.

Le chlorate de sodium est une substance cristalline incolore, parfois jaune-blanche pâle, et inodore. Il se dissout dans l'eau et est hygroscopique.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le chlorate de sodium proprement dit ne brûle pas mais réagit violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition. Le produit solide et même une solution à 30% dans l'eau constituent des agents oxydants puissants.

Le chlorate de sodium est susceptible d'attiser un incendie existant. Il existe par ailleurs un risque d'explosion lorsqu'il est mélangé à des substances organiques.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du chlorate de sodium pur entre en contact avec des sels d'ammonium, des matières combustibles, des acides concentrés, de la graisse, du nitro-benzol (nitrobenzène), des substances organiques, des huiles, du phosphore, des métaux pulvérulents, de l'acide sulfurique ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le chlorate de sodium a peu d'effets irritants sur les muqueuses et la peau. L'absorption par les poumons ou le tube digestif peut provoquer des troubles sanguins et rénaux.

Le chlorate de sodium est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique.

CHLORATE DE STRONTIUM [Sr(ClO₃)₂]



Le chlorate de strontium est utilisé dans les produits pyrotechniques pour produire une flamme rouge.

Le chlorate de strontium est une substance cristalline incolore et inodore. Il se dissout dans l'eau et est hygroscopique.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le chlorate de strontium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition.

Le chlorate de strontium est susceptible d'attiser un incendie existant. Lorsqu'il est chauffé jusqu'à décomposition, il émet des fumées toxiques de chlorure d'hydrogène.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le chlorate de strontium a un effet extrêmement irritant sur les muqueuses, notamment dans les yeux.

Il a des effets nocifs sur l'environnement aquatique.

4.3.3. GROUPE DES PERCHLORATES

Les perchlorates d'acide perchlorique sont les sels d'acide perchlorique (HClO_4). Ils sont plus sensibles aux chocs et aux frottements que les chlorates ou les nitrates.

PERCHLORATE D'AMMONIUM [NH_4ClO_4]



Image 48. Perchlorate d'ammonium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le perchlorate d'ammonium est utilisé avec les matières combustibles dans la fabrication de propulseurs de roquettes composites. Il est également utilisé dans la fabrication d'explosifs et de feux d'artifice. Le perchlorate d'ammonium est une substance cristalline incolore et inodore mais peut prendre l'apparence de cristaux gris clair ou gris argenté. Il est soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Outre sa forte sensibilité aux chocs et aux frottements, le perchlorate d'ammonium est sensible à la chaleur et à d'autres sources d'ignition (par exemple les acides puissants). Chacun de ces stimuli peut entraîner une décomposition rapide générant un volume de gaz important.

Le perchlorate d'ammonium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, parfois sans autre source d'ignition. Le perchlorate d'ammonium est susceptible d'attiser un incendie existant. Mélanger du perchlorate d'ammonium avec des substances pulvérulentes combustibles peut entraîner des explosions, notamment en milieu confiné.

Une réaction violente peut se produire lorsque du perchlorate d'ammonium pur entre en contact avec du chlore, des substances combustibles, des métaux (solides et pulvérulents), des sels métalliques, des nitrates, de l'acide nitrique, du phosphore organique, des acides puissants ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières et les solutions de perchlorate d'ammonium³⁶ peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses. Il présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



AVERTISSEMENT. En aucun cas le perchlorate d'ammonium ne doit être stocké en combinaison avec des composés chloratés, compte tenu de la formation de chlorate d'ammonium en présence d'humidité. Il ne doit pas non plus être mélangé au magnésium puisque toute présence d'humidité peut provoquer une combustion spontanée si la chaleur accumulée est suffisante.

³⁶ Une solution, en chimie, est un mélange homogène de deux substances ou plus en quantités relatives qui peut varier en continu jusqu'à ce que l'on appelle la limite de solubilité (Encyclopædia Britannica, Inc. © 2021).

PERCHLORATE DE POTASSIUM [KClO₄]



Image 49. Perchlorate de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le perchlorate de potassium a été utilisé dans des produits pyrotechniques pour remplacer progressivement le chlorate de potassium.

Le perchlorate de potassium est une substance cristalline, incolore ou blanche, inodore. Il n'est pas hygroscopique mais est partiellement soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le perchlorate de potassium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, parfois sans autre source d'ignition. Le perchlorate de potassium est susceptible d'attiser un incendie existant.

Une réaction violente peut se produire lorsque du perchlorate de potassium pur entre en contact avec des acides, des matières combustibles, de l'éthanol, des substances organiques, des métaux pulvérulents, du phosphore rouge ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières et les solutions de perchlorate de potassium peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses.

Le perchlorate de potassium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

PERCHLORATE DE SODIUM [NaClO₄]



Image 50. Perchlorate de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le perchlorate de sodium est utilisé à des fins médicales, dans les produits pyrotechniques et les propulseurs.

Le perchlorate de sodium est une substance cristalline, incolore et inodore. Il est hygroscopique et soluble dans l'eau et l'alcool.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le perchlorate de sodium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, dans certains cas sans autre source d'ignition.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du perchlorate de sodium pur entre en contact avec des acides, de l'éthanol, des matières combustibles, des métaux pulvérulents ou du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières et les solutions de perchlorate de sodium peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses.

Il ne doit pas être stocké dans des récipients en métal ou en PVC.

Le perchlorate de sodium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.3.4. AUTRES OXYDANTS

CARBONATE DE BARYUM [BaCO₃]



Le carbonate de baryum est utilisé dans l'industrie pour produire du verre et de la céramique. Il est également utilisé comme composé chimique dans les appâts empoisonnés, notamment la mort-aux-rats.

Le carbonate de baryum est un solide incolore-blanc que l'on peut rencontrer sous forme de poudre ou de cristaux. Le carbonate de baryum n'est pas hygroscopique. Il est soluble dans l'éthanol.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le carbonate de baryum ne brûle pas.

Une réaction violente peut se produire lorsque du carbonate de baryum pur entre en contact avec des acides puissants.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières de carbonate de baryum peuvent provoquer une irritation des muqueuses, des troubles fonctionnels des systèmes nerveux central et périphérique, une paralysie des muscles, ainsi que des troubles gastro-intestinaux, cardiovasculaires et pulmonaires.

Le carbonate de baryum présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

PEROXYDE DE BARYUM [BaO₂] OU SUPEROXYDE DE BARYUM



Image 51. Peroxyde de baryum

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le peroxyde de baryum a deux applications principales: comme décolorant industriel ou pour générer une flamme verte dans les produits pyrotechniques.

Le peroxyde de baryum est une poudre blanche très peu soluble. Si la substance est fortement chauffée, elle se décompose pour former de l'oxyde de baryum. Il peut être utilisé à la fois comme oxydant et comme combustible.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le peroxyde de baryum proprement dit ne brûle pas mais accroît le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Il est susceptible d'attiser un incendie existant. Il existe un risque d'explosion lorsque le peroxyde de baryum est mélangé à des substances inflammables.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du peroxyde de baryum pur entre en contact avec du dioxyde de carbone, des substances organiques ou des métaux pulvérulents (aluminium, magnésium). Le peroxyde de baryum peut provoquer des explosions de poussières.³⁷

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le peroxyde de baryum a un effet irritant sur la peau et les muqueuses. Il peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, musculaires et cardiovasculaires.

Le peroxyde de baryum présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

³⁷ Voir sous-section 4.4.2. *Combustibles solides*.

HYPOCHLORITE DE CALCIUM [Ca(ClO)₂] OU C8



Image 52. Hypochlorite de calcium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hypochlorite de calcium est utilisé dans l'industrie comme décolorant dans la fabrication de textiles et de papier. Il est également utilisé comme désinfectant pour les piscines. Associé à d'autres substances, il est utilisé pour la décontamination des agents chimiques et biologiques.

L'hypochlorite de calcium est une substance cristalline blanche qui dégage une forte odeur de chlore. On peut le trouver sous forme de poudre ou de plaques/tablettes plates. Il est soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Exposé à la chaleur, l'hypochlorite de calcium se décomposera et dégagera des gaz toxiques. L'hypochlorite de calcium proprement dit ne brûle pas mais augmente le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Il est susceptible d'attiser un incendie existant.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'hypochlorite de calcium pur entre en contact avec des acides, des métaux alcalins, de l'ammoniac, du nitrométhane, des substances organiques, du soufre, de l'urée ou de l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'hypochlorite de calcium peut provoquer des irritations et a un effet très corrosif sur les yeux, les voies respiratoires et la peau.

L'hypochlorite de calcium est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol, même en faibles quantités.

OXYDE DE FER (III) [Fe₂O₃] OU OCRE

Ce produit chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 53. Oxyde de fer (III)

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'oxyde de fer (III) est utilisé pour polir le verre et l'acier, comme pigment de coloration, sur les bandes magnétiques et dans la thermitte.

L'oxyde de fer (III) est une poudre cristalline rouge-brun inodore. Les plus gros cristaux sont gris-noir. Il ne se dissout pas dans l'eau et ne brûle pas.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'oxyde de fer (III) pur entre en contact avec du peroxyde d'hydrogène, du magnésium, de l'aluminium pulvérulent ou du nitrate de sodium.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières d'oxyde de fer (III) peuvent provoquer une irritation des muqueuses et des yeux. En cas d'ingestion, il peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, hépatiques et cardiovasculaires.

L'oxyde de fer (III) ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

CARBONATE DE POTASSIUM [K₂CO₃] OU POTASSE



Image 54. Carbonate de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le carbonate de potassium possède une grande variété d'applications, par exemple dans la fabrication d'articles en verre potassique, de savons, le développement photographique, en tant qu'agent levant dans les produits de boulangerie (par exemple le pain d'épice), comme agent de nettoyage et pour neutraliser les acides.

Le carbonate de potassium est une poudre blanche transparente inodore. Il est hygroscopique, se dissout facilement dans l'eau et ne brûle pas.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une réaction explosive peut se produire lorsque du carbonate de potassium pur entre en contact avec du carbone et du calcium pulvérulent.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le carbonate de potassium peut provoquer une irritation des yeux, de la peau et des voies respiratoires. Dans une solution aqueuse, il devient fortement alcalin et provoquera des brûlures chimiques.

Le carbonate de potassium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

PERMANGANATE DE POTASSIUM [KMnO₄]



Image 55. Permanganate de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le permanganate de potassium a une grande variété d'applications dans les désinfectants, les agents blanchissants, la production de saccharine, mais également dans la production illégale de stupéfiants puisqu'il est utilisé dans la préparation de la cocaïne. Il figure sur la liste des médicaments essentiels de l'Organisation mondiale de la Santé.

Le permanganate de potassium est une substance cristalline rouge-pourpre foncé inodore. Il se dissout dans l'eau, et la rend violette. Le permanganate de potassium cristallin solide est plus sensible que ses solutions diluées.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le permanganate de potassium proprement dit ne brûle pas mais accroît le risque d'incendie au contact de matériaux combustibles. Le permanganate de potassium est susceptible d'attiser un incendie existant.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du permanganate de potassium pur entre en contact avec de l'éthanol, de l'ammoniac, du nitrate d'ammonium, du perchlorate d'ammonium, des matières combustibles, des acides concentrés, de la glycérine, de l'acide chlorhydrique, du peroxyde d'hydrogène, des substances organiques, du phosphore, du soufre ou de l'acide sulfurique.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le permanganate de potassium peut provoquer des irritations et des effets corrosifs sur les muqueuses. Il peut provoquer de graves lésions oculaires entraînant une opacité cornéenne.

Le permanganate de potassium ne doit pas être stocké dans des récipients en cuivre, en zinc ou en laiton. Il convient de contrôler la résistance des matières plastiques à des réactions accidentelles, sachant que certaines matières plastiques s'enflamment spontanément au contact du permanganate de potassium.

Le permanganate de potassium est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol, même en faibles quantités.

SULFATE DE SODIUM [Na₂SO₄]



Image 56. Sulfate de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le sulfate de sodium est utilisé pour produire du verre, du silicate de sodium ou du verre liquide, de la cellulose et des préparations pharmaceutiques. Il est également utilisé dans l'industrie des colorants pour lier la teinture aux fibres, dans les produits de lavage et de rinçage.

Le sulfate de sodium est une substance cristalline (ou pulvérulente) blanche inodore. Il est hygroscopique et est modérément soluble dans l'eau et la glycérine.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le sulfate de sodium ne brûle pas.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les poussières et les solutions de sulfate de sodium peuvent avoir un effet irritant sur la peau et les yeux. Si l'aluminium est fondu avec du sulfate de sodium ou de potassium, une violente réaction ou une explosion peut se produire.

Le sulfate de sodium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.4. COMBUSTIBLES

Cette sous-section propose un aperçu des combustibles les plus fréquemment utilisés dans la fabrication des explosifs artisanaux, et décrit leur mode d'action. Les combustibles peuvent être solides, liquides ou gazeux. Les combustibles que l'on trouve généralement dans les explosifs artisanaux contiennent du carbone, de l'hydrogène, de l'azote ou des composés chimiques contenant une ou plusieurs de ces substances chimiques. En outre, des substances inorganiques et des métaux sont également utilisés comme combustibles. Les combustibles métalliques sont des solides mais sont présentés séparément dans cette sous-section compte tenu de leurs propriétés spécifiques.

COMPORTEMENT CHIMIQUE DES COMBUSTIBLES :

- Ils peuvent être inflammables;
- Ils sont susceptibles d'attiser un incendie existant;
- Ils peuvent augmenter le risque d'incendie au contact d'oxydants, de puissants acides et de métaux; et/ou
- Ils peuvent réagir si violemment avec les oxydants, les acides puissants et les métaux qu'ils s'enflamment, parfois sans autre source d'ignition.



AVERTISSEMENT. Les vapeurs de combustible peuvent créer un mélange explosif avec l'air ambiant s'il est chauffé à une température supérieure à son point d'éclair. Ces vapeurs peuvent être toxiques.



AVERTISSEMENT. Certains combustibles génèrent des vapeurs qui sont (légèrement) plus lourdes que l'air et ne se dispersent pas dans l'atmosphère environnante. Plaquées au sol, ces vapeurs peuvent se déplacer sur une certaine distance. Enflammées accidentellement, elles peuvent déflagrer en brûlant avec l'oxygène environnant. L'essence est un exemple de combustible présentant de telles propriétés.

FONCTION DES COMBUSTIBLES (SOLIDES, LIQUIDES, GAZEUX) DANS UNE DÉFLAGRATION ET UNE DÉTONATION :

Lorsqu'un stimulus externe approprié est appliqué, un oxydant commence à se décomposer. Il se fragmente au niveau moléculaire et libère son oxygène à l'état gazeux. Dans ce processus de dissociation, l'énergie est également libérée, sous forme thermique. La libération d'oxygène gazeux augmente la pression dans la réaction de décomposition, l'accélère et provoque donc un dégagement de gaz supérieur par unité de temps. Ainsi, la pression et la génération de chaleur augmentent continuellement. Cet effet favorise la décomposition.

Sous l'effet de la chaleur, l'oxygène gazeux réagit (s'oxyde) avec le combustible et une réaction d'oxydo-réduction s'ensuit. Avec la production de chaleur supplémentaire, le processus d'oxydation forme de nouvelles substances chimiques gazeuses avec le combustible, comme le dioxyde de carbone CO_2 (réaction: carbone et oxygène), le dioxyde de soufre SO_2 (réaction: soufre et oxygène) et le monoxyde de carbone CO (réaction: carbone et oxygène). La formation de chacun de ces gaz libère de l'énergie supplémentaire et augmente encore la pression de la réaction, jusqu'à ce que l'oxygène disponible soit épuisé.

EXEMPLE : DILATATION THERMIQUE

Lorsqu'un explosif se déclenche, le volume de gaz (rendement gazeux) produit fournit des informations sur la charge de travail qu'un explosif peut accomplir sur son environnement, comme se soulever ou se désintégrer. Afin de déterminer la brisance d'un explosif, le rendement gazeux est l'un des principaux paramètres, comme la chaleur de l'explosion, la vitesse de détonation et la densité de chargement.

Dans des conditions normales de température et de pression, un mole³⁸ de gaz produit occupera le même volume, quelle que soit sa formule chimique. Par exemple, un mole de RDX produira 3 moles de monoxyde de carbone (CO), 3 moles d'eau (H₂O) et 3 moles d'azote (N₂), ce qui équivaut à 9 moles de gaz. Ces 9 moles de gaz correspondent à 908 litres (l) de gaz par kg de RDX. Ce rendement gazeux subira une dilatation en quelques millisecondes, étendue et accélérée sous l'influence des autres paramètres (comme la chaleur de l'explosion) pour accomplir l'œuvre destructrice d'un explosif.

Quantité de gaz produite par kilo pour différents explosifs :

1 kg de RDX génère 908 l de gaz

1 kg de TNT génère 740 l de gaz³⁹

1 kg de nitrate d'ammonium génère 980 l de gaz⁴⁰

1 kg de HMTD génère 1 097 l de gaz⁴¹

1 kg de nitrate d'ammonium–sucre glace génère 1 001 l de gaz⁴²

1 kg d'azoture de plomb génère 231 l de gaz⁴³

³⁸ Un mole de composé chimique correspond à sa masse moléculaire relative exprimée en grammes (g). 1 mole de composé chimique contient environ $6,022 \times 10^{23}$ de ses atomes/molécules. 1 mole d'hydrogène H₂ = 2 g d'hydrogène H₂, 1 mole de chlorure Cl₂ = 71 g de chlorure Cl₂, 1 mole de nitrate d'ammonium NH₄NO₃ = 80 gr de nitrate d'ammonium NH₄NO₃.

³⁹ Rudolf Meyer, Josef Köhler et Axel Homburg, *Explosifs*. Sixième édition. (Weinheim, Allemagne: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007).

⁴⁰ Meyer et al., *Explosifs*.

⁴¹ M.A. Ilyushin, I.V. Tselinskii and A.M. Sudarikov, *Development of components for high-energy compositions*. (SPB: LGU im. A. S. Pushkina – SPBGTI(TU), Saint Petersburg, 2006).

⁴² G.P. Collett, *Home-Made Explosives, A Comprehensive Guide* (UK Ministry of Defence, 2020).

⁴³ J.N. Danilov, M.A. Ilyushin and I.V. Tselinskii *Industrial Explosives Part 1. Initiating explosives* (Saint-Petersburg State Institute of Technology, Saint-Peterburg, 2001).

4.4.1. COMBUSTIBLES LIQUIDES

Les combustibles liquides peuvent provoquer des explosions combustible-air. Une explosion combustible-air se distingue d'une explosion créée par un explosif classique dans la mesure où les éléments combustibles ne transportent pas leur propre oxygène. Pour qu'une explosion combustible-air se produise, les vapeurs de combustible doivent être mélangées à l'air atmosphérique ambiant et lorsque le mélange est terminé, il doit être déclenché par une source d'ignition. Chaque type de combustible a une limite inférieure d'explosivité (la densité minimale de vapeur combustible par rapport à l'air au-dessous de laquelle elle ne peut être enflammée – LIE) et une limite supérieure d'explosivité (la densité maximale de vapeur combustible par rapport à l'air au-dessus de laquelle elle ne peut être enflammée – LSE). Par exemple: le nitrobenzène a une LIE de 2% et une LSE de 9%; le nitrométhane a une LIE de 7,3% et une LSE de 22,2%; l'hexane a une LIE de 1,2% et une LSE de 7,4% (similaire aux vapeurs d'essence); et l'éthylène diamine a une LIE de 4,2% et une LSE de 14,4%.



AVERTISSEMENT. Il convient d'être prudent lorsque l'on manipule des combustibles liquides inflammables. Ils peuvent provoquer des explosions combustible-air par eux-mêmes ou lorsqu'ils font partie d'un explosif artisanal qui a été fabriqué ou stocké dans des conditions où ses vapeurs peuvent se mélanger à l'air.



NOTE. Une explosion combustible-air peut générer une pression de détonation suffisante pour déclencher d'autres compositions explosives à proximité immédiate. Ceci s'avère particulièrement important si l'on tient compte des explosions combustible-air susceptibles de se produire en présence de compositions d'explosifs artisanaux.

AMMONIAC [NH₃] OU AZANE, ESPRIT DE CORNE DE CERF



Image 57. Ammoniac 30%

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'ammoniac est utilisé comme synthétiseur pour les produits azotés de fabrication industrielle comme les engrais, les explosifs et les colorants. Pur, il est également utilisé dans les produits fertilisants et les unités de ventilation. L'ammoniac est un gaz incolore qui se liquéfie sous pression. Il dégage une odeur piquante et suffocante, semblable à l'urine putride. L'ammoniac se dissout dans l'eau et l'éthanol.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'ammoniac peut avoir un effet très irritant/corrosif sur les yeux, les voies respiratoires et la peau. Tout contact avec la substance peut provoquer de graves lésions oculaires, cutanées et aux voies respiratoires.

L'ammoniac est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol. Sous pression atmosphérique, l'ammoniac liquéfié de manière artificielle se transformera de nouveau en gaz.

ANILINE [C₆H₅NH₂] OU AMINOENZÈNE



Image 58. Aniline

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'aniline est utilisée dans l'industrie chimique et pour créer du propergol liquide. Elle est également utilisée avec le nitrométhane dans des opérations de déminage comme explosif liquide dans des conduits.⁴⁴

L'aniline est un liquide huileux incolore qui brunit rapidement en cas d'exposition au soleil. Il dégage une odeur d'amine⁴⁵ douce et légère (de vieux poisson). Elle se dissout dans l'eau et l'ammoniac liquide.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'aniline est une grave toxine du sang et des nerfs provoquant une perturbation de la fonction hématologique (formation de méthémoglobine) ainsi que des troubles du système nerveux central. Elle peut irriter les yeux et les muqueuses.

Les agents d'extinction adaptés pour l'aniline sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche ou le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de l'eau pulvérisée ou de la mousse résistante à l'alcool.

L'aniline est extrêmement dangereuse pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

⁴⁴ Laurence, Edgar A. Explosif stable à base de nitrométhane et d'amine. Brevet américain 3239395A déposé le 18 juillet 1945, délivré le 8 mars 1966.

⁴⁵ Les amines sont expliquées au point Éthylènediamine dans la sous-section 4.4.1.

BENZÈNE [C₆H₆] OU BENZOL



Image 59. Benzène

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le benzène est important pour l'industrie pétrochimique. Il est utilisé dans les combustibles pour moteurs, et les produits issus d'une nouvelle transformation sont utilisés pour fabriquer des peintures, des matières plastiques, de l'aniline, des pesticides et de l'acétone.

Le benzène est un liquide incolore, qui dégage une odeur aromatique caractéristique et brûle d'une forte flamme produisant de la suie. Il est plus léger que l'eau et est très volatil.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le benzène est cancérigène et ses vapeurs sont toxiques. Il a un effet quelque peu irritant sur les muqueuses et la peau, et peut provoquer des troubles du système nerveux central.

Le benzène peut être stocké dans du verre ou de l'acier inoxydable. Il convient de contrôler la résistance des matières plastiques avant utilisation.

Les agents d'extinction adaptés sont la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

Le benzène est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

LIQUIDE DE FREIN



Image 60. Liquide de frein

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le liquide de frein est un fluide hydraulique utilisé pour les systèmes de freinage des véhicules. Les liquides de frein couramment utilisés comme combustible sont des compositions de composés de polyglycol. Les polyglycols sont entre autres utilisés comme agents réfrigérants et antigels.

Le liquide de frein est un liquide visqueux, inodore et incolore-jaune. Il est hygroscopique et se dissout dans l'eau. Une couleur peut être ajoutée par le fabricant.

COMPORTEMENT TOXIQUE

En cas d'absorption, le liquide de frein est toxique et provoque des irritations de la peau et des yeux.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

Le liquide de frein présente un risque pour l'environnement aquatique.

ÉTHANOL [C₂H₅OH] OU ALCOOL ÉTHYLIQUE



Image 61. Éthanol

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'éthanol d'origine agricole est destiné à la consommation humaine. L'éthanol fabriqué artificiellement est utilisé pour les détergents, les peintures, les cosmétiques ou les biocarburants.

L'éthanol est un liquide incolore qui dégage une faible, agréable odeur de vin. L'éthanol pur ou concentré a un goût brûlant. Il est hygroscopique et soluble dans l'eau. L'éthanol est extrêmement volatil.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'éthanol a un effet légèrement irritant sur les muqueuses et la peau. Il peut provoquer des troubles neurotoxiques, des troubles cardiovasculaires, des changements métaboliques et des lésions rénales.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

L'éthanol présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

ÉTHYLÈNEDIAMINE [C₂H₈N₂]



Image 62. Éthylènediamine

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les durcisseurs à haute résistance sont utilisés dans la colle époxyde en deux tubes. Les durcisseurs sont constitués d'amines, de composés organiques et de dérivés de l'ammoniac. L'éthylènediamine est un composant communément utilisé.

L'éthylènediamine est un liquide incolore avec une odeur d'ammoniac. Il est hygroscopique et se dissout dans l'eau. Il est modérément volatil. Les solutions aqueuses, l'éthylènediamine mélangée à l'eau, sont caustiques.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'éthylènediamine peut provoquer de graves irritations et avoir un effet corrosif sur la peau, les muqueuses et les voies respiratoires.

L'éthylènediamine ne doit pas être stockée dans des récipients en aluminium ou en cuivre, en zinc et magnésium et leurs alliages.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

L'éthylènediamine présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

FIOL [75% C₁₀H₂₀ - C₁₅H₂₈ ET 25% D'HYDROCARBURES AROMATIQUES]
COMME LE MAZOUT, LE DIESEL



Image 63. Fioul

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le fioul est un mélange de différents hydrocarbures présentant un point d'ébullition compris entre 230°C et 350°C. Il est utilisé dans divers mélanges pour les installations de chauffage et les moteurs diesel.

Le fioul est un liquide visqueux et huileux incolore-jaune qui dégage une odeur caractéristique d'hydrocarbures. Il est plus léger que l'eau et ne se dissout pas dans l'eau. L'adjonction de composants ayant un point d'ébullition bas peut considérablement diminuer le point d'inflammabilité du mélange. Le fioul chauffé peut s'enflammer sans source d'ignition externe.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le fioul peut gravement dessécher et irriter la peau. Il provoque des troubles pulmonaires en cas d'inhalation de fortes concentrations d'aérosols et peut provoquer des troubles du système nerveux central.

Les agents d'extinction adaptés sont la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou le sable. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse ou de l'eau pulvérisée.

Le fioul est extrêmement dangereux pour l'eau, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

GLYCÉRINE [C₃H₈O₃] OU GLYCÉROL, ALCOOL GLYCYLE, GLYCOL

Ce produit chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 64. Glycérine

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La glycérine est utilisée pour fabriquer des explosifs comme la nitroglycérine (NG), les résines synthétiques, et comme produit intermédiaire pour les préparations pharmaceutiques. Elle est utilisée dans les produits dermatologiques comme les savons et l'antigel, les fluides hydrauliques et les plastifiants.

La glycérine est un liquide visqueux, incolore et inodore. Elle est hygroscopique et soluble dans l'eau et l'éthanol. Elle a un goût légèrement sucré.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La glycérine peut provoquer des irritations cutanées et oculaires.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

La glycérine présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



Image 65. Hexane

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hexane est utilisé comme solvant et diluant pour les peintures à séchage rapide, les encres d'impression et les adhésifs.

L'hexane est un liquide volatil incolore qui est facilement inflammable et dégage une odeur d'essence. L'hexane ne se dissout pas dans l'eau et est plus léger que l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'hexane peut avoir un effet irritant pour les yeux et les voies respiratoires supérieures. Il peut gravement dessécher et irriter la peau, et provoquer des troubles du système nerveux central.

Les agents d'extinction adaptés sont la poudre sèche ou le dioxyde de carbone.

L'hexane est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

CARBURÉACTEUR OU JET A-1, TS-1, JP-1, JP-5, JP-9, JP-10, DÉNOMINATION FAMILIÈRE :
KÉROSÈNE



Image 66. Carburéacteur

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les carburéacteurs sont des produits pétroliers principalement utilisés dans les carburants diesel et les moteurs d'avion. Ils constituent un mélange de différents hydrocarbures tels que les alcanes, les cycloalcanes, les composés aromatiques et les oléfines.

Le kérosène est un liquide huileux incolore-jaunâtre qui dégage une odeur typique d'hydrocarbure. Il ne se dissout pas dans l'eau et est plus léger que l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le kérosène peut provoquer un effet desséchant et irritant sur la peau et les yeux. L'inhalation d'aérosols hautement concentrés peut endommager les poumons.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse.

Le kérosène est très dangereux pour l'environnement aquatique.

MÉTHYLÉTHYLACÉTONNE (MEK) [C₄H₈O] OU BUTANONE



Image 67. Butanone

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le butanone est utilisé comme solvant pour les peintures et les résines (comme la fibre de verre), comme agent dégraissant et comme agent de stérilisation pour les instruments médicaux.

Le butanone est un liquide extrêmement inflammable incolore qui dégage une odeur d'acétone. Il se dissout facilement dans l'eau, est très volatil et s'évapore rapidement.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le butanone peut provoquer des irritations de la peau, des yeux, des voies respiratoires et du système nerveux central (sommolence et vertiges).

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, le dioxyde de carbone ou la mousse anti-alcool.

Le butanone présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

NITROBENZÈNE [C₆H₅NO₂] OU NITROBENZOL, BENZÈNE, ESSENCE DE MIRBANE



Image 68. Nitrobenzène

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrobenzène est utilisé par l'industrie chimique pour produire diverses substances chimiques, comme l'aniline ou le trinitrobenzène. Il est utilisé dans les solvants, comme adjuvant dans les lubrifiants et les explosifs, et a été utilisé comme fragrance bon marché pour les savons durs.

Le nitrobenzène est un liquide inflammable incolore-jaune au goût sucré qui dégage une légère odeur d'amandes amères ou de pâte d'amande. Il est plus lourd que l'eau et peu soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrobenzène peut provoquer des troubles de la fonction sanguine (formation de méthémoglobine) et du système nerveux central, suivis de troubles sanguins et hépatiques.

Les agents d'extinction adaptés sont la poudre sèche ou le dioxyde de carbone.

Le nitrobenzène est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

NITROMÉTHANE [CH₃NO₂]



Image 69. Nitrométhane

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrométhane est utilisé dans la production de carburants de fusée, d'explosifs, d'insecticides et comme additifs pour l'essence. Dans le secteur privé, le nitrométhane est principalement utilisé comme carburant pour les moteurs à combustion dans le modélisme. Le nitrométhane est vendu en différentes qualités et concentrations. Le nitrométhane utilisé comme carburant pour moteur de modèle réduit a une concentration inférieure à 40% et est mélangé à d'autres agents comme l'huile, les lubrifiants, les colorants et le méthanol. Le nitrométhane utilisé comme carburant pour les véhicules de course a généralement une concentration proche de 100%. Il est désensibilisé avec du méthanol pour éviter une détonation du moteur.

Le nitrométhane est un liquide huileux incolore qui dégage une odeur aromatique et fruitée. Il est hygroscopique, facilement soluble dans l'eau et très volatil.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le nitrométhane peut provoquer de légères irritations de la peau et des muqueuses. Les plus fortes concentrations peuvent provoquer des irritations des voies respiratoires et des troubles du système nerveux central.

Les récipients en plastique doivent être testés pour contrôler leur résistance avant utilisation.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la mousse anti-alcool, la poudre sèche et le dioxyde de carbone.

Le nitrométhane est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique.

GELÉE DE PÉTROLE [PRIMAIRE C₁₅H₁₅N] OU VASELINE® (MARQUE UNILEVER)

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.

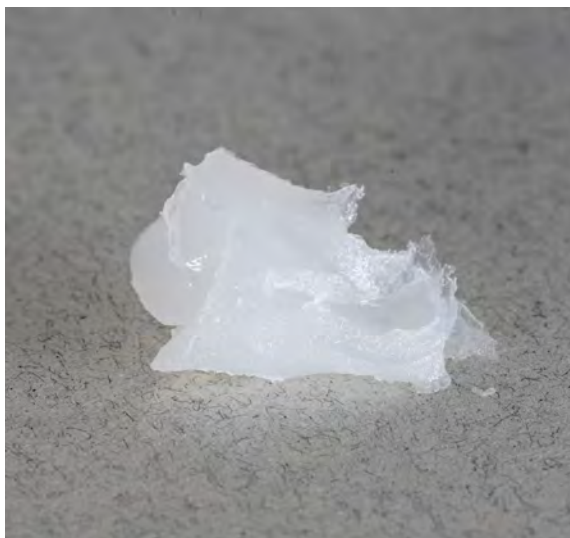


Image 70. Gelée de pétrole

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La vaseline est utilisée dans de nombreuses applications, telles que les crèmes pour la peau, le cirage, les lubrifiants et la graisse.

La vaseline est un mélange harmonieux, transparent blanc-jaune pâle d'hydrocarbures aliphatiques (non aromatiques) semblable à une pommade. Elle est inodore et insipide. Elle ne se dissout pas dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Aucun effet notable.

La vaseline ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

4.4.2. COMBUSTIBLES SOLIDES

Les combustibles solides peuvent générer de fines poussières dispersées. Certaines poussières organiques et une variété de poussières métalliques sont inflammables et explosives. Les poussières déposées ont généralement tendance à brûler, briller ou fumer après l'inflammation. Les poussières suspendues et mélangées à l'oxygène dans l'air peuvent réagir de façon explosive au-dessus d'un niveau de concentration donné connu comme la limite inférieure d'explosivité. En général, le contact ou l'inhalation de ces poussières ou de ces poudres peut provoquer une irritation des yeux, du nez, de la gorge et des poumons.



NOTE. Une explosion de poussières est l'explosion d'une masse suspendue de fines particules de poussières combustibles mélangées à l'air atmosphérique ambiant, qui peut être déclenchée par des étincelles, une décharge électrostatique ou des flammes. Ces déclencheurs provoqueront la mise à feu de presque tout matériau organique en fine poudre à une température inférieure à 500°C.⁴⁶ La substance doit être sous une forme très finement dispersée (poudre, poussière) et brassée par l'air en quantité suffisante. Une explosion soudaine peut se produire en raison de la quantité élevée d'oxygène atmosphérique qui peut réagir avec la surface importante des particules de poussière.



AVERTISSEMENT. Dans la mesure où les sites de stockage et de fabrication des explosifs artisanaux ne sont pas soumis à des règles de sécurité, les organisations de l'action contre les mines qui rencontrent ce type d'infrastructures doivent être conscientes des risques d'explosions de poussières.

SULFATE D'ALUMINIUM [Al₂(SO₄)₃]



Le sulfate d'aluminium est utilisé pour la purification de l'eau, les agents d'extinction à base de mousse et dans l'industrie de la teinture et des colorants.

Le sulfate d'aluminium est un solide cristallin incolore-blanc inodore. On peut le trouver sous forme de pastilles, de cristaux, de poudre ou de granulés. Le sulfate d'aluminium se dissout dans l'eau, n'est pas inflammable et ne provoque pas d'explosions de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les particules de sulfate d'aluminium peuvent avoir un effet fort irritant sur les muqueuses, comme dans les yeux.

Le sulfate d'aluminium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

⁴⁶ W.E. Baker and M.J. Tang, *Gas, Dust and Hybrid Explosions* (Elsevier Science, 1991).

SULFATE D'AMMONIUM [(NH₄)₂SO₄]

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 71. Sulfate d'ammonium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le sulfate d'ammonium est un sel de fertilisation produit en grandes quantités. Il est également utilisé dans la production d'agents d'extinction à base de mousse et dans l'industrie de la teinture et des colorants.

Le sulfate d'ammonium est un solide cristallin incolore et inodore. On peut le trouver sous forme de pastilles, de cristaux, de poudre ou de granulés. Le sulfate d'ammonium est légèrement hygroscopique et se dissout dans l'eau. Il n'est pas inflammable mais deviendra instable et se décomposera à des températures supérieures à 235°C.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Les particules de sulfate d'ammonium peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses, notamment les yeux. Les effets, toutefois, ne sont pas documentés.

Le sulfate d'ammonium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

BORE [B]

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques. Le bore est utilisé dans les alliages, les produits pyrotechniques, les propulseurs et dans des applications nécessitant une grande stabilité contre la force physique, comme dans les raquettes de tennis, par exemple.

Le bore forme des cristaux brillants très durs gris-noir. Le bore amorphe est une poudre brune inodore. Il brûle dans l'air avec une forte flamme verte. La réactivité du bore augmente avec la température, tandis que sa stabilité diminue. Il ne se dissout pas dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Non documenté.

Les agents d'extinction adaptés sont le sable sec ou les extincteurs d'incendie de métaux; l'eau et la mousse ne conviennent pas.

Le bore ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

CHARBON (JUSQU'À 90% DE CARBONE)



Image 72. Charbon finement broyé

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le charbon est utilisé dans les filtres, les produits de nettoyage, les désinfectants, les produits médicaux, les propulseurs, les produits pyrotechniques et comme combustible.

Le charbon est un composé de carbone noir inorganique. Il ne se dissout pas dans l'eau. Le charbon est inflammable et peut brûler sans créer de flamme. Il peut provoquer des explosions de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La poudre et la poussière de carbone peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses.

Le charbon ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

CAFÉ (SUCROSE ET POLYSACCHARIDE)

Cette substance organique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 73. Café

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le café est extrait des grains de café et a un effet stimulant pour le système nerveux central.

Le café moulu est une poudre de couleur brun à brun foncé qui dégage une douce odeur caractéristique. Il peut être utilisé comme composant pour le combustible. Généralement, un combustible métallique est ajouté au mélange.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La poudre de café peut avoir un effet irritant sur les muqueuses.

Le café ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

DEXTRINE $[(C_6H_{10}O_5)_n]$ ⁴⁷

Cette substance organique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 74. Dextrine

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La dextrine est utilisée dans les colles à fourrure, la transformation des produits alimentaires, les produits pharmaceutiques, comme stabilisateur pyrotechnique, comme liant et comme combustible.

La dextrine est un glucide en poudre blanc-jaunâtre inodore. Elle est inflammable, difficile à enflammer et se dissout dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Non documenté.

Le risque que pourrait représenter la dextrine pour l'eau n'est pas documenté.

⁴⁷ La dextrine crée des chaînes, ce qui signifie que les molécules sont ajoutées; de ce fait $n = 1, 2, 3, \dots, n+1$.

NAPHTALÈNE [C₁₀H₈] OU CAMPHRE DE GOUDRON



Image 75. Naphtalène

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le naphtalène est utilisé pour produire des colorants (teintures), des combustibles, des solvants et des pesticides (boules antimites).

Le naphtalène est un hydrocarbure solide cristallin incolore-blanc qui dégage une odeur intense de goudron/boules antimites. On peut trouver le naphtalène sous forme de cristaux, de poudre, de granules ou de boules. Il ne se dissout pas dans l'eau mais peut s'évaporer à température ambiante.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le naphtalène provoque peu d'effets irritants sur les muqueuses et la peau. Il peut provoquer des troubles du système nerveux central et endommager les globules rouges.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, la mousse et le dioxyde de carbone.

Le naphtalène est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

PARAFFINE [C_nH_{2n+2}] OU CIRE, HUILE POUR BÉBÉ

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 76. Paraffine

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La paraffine est utilisée dans les cosmétiques, les produits pharmaceutiques, les agents d'imprégnation, les composants de propulseurs et les bougies.

La paraffine est un hydrocarbure d'aspect cireux blanc-jaunâtre, inodore et insipide. On peut la trouver sous forme de poudre, de granules, de boules, d'huiles ou de liquides. Elle ne se dissout pas dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Dans des conditions normales, la paraffine ne représente aucune menace pour la santé.

La paraffine ne présente aucun risque pour l'environnement aquatique.

SCIURE

Cette substance organique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 77. Sciure

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La sciure est utilisée comme matière isolante, pour produire du carton, comme combustible, et a été utilisée comme additif dans des explosifs.

On peut la trouver sous forme de poudre fine, de copeaux ou de poussière, dont la couleur et l'odeur dépendent du type de bois utilisé. La sciure fine peut provoquer une explosion de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Aucun comportement toxique n'est documenté. L'inhalation de poussières ou de poudre peut provoquer une irritation des yeux, du nez, de la gorge et des poumons.

Aucun risque pour l'eau n'a été documenté.

SORBITOL [C₆H₁₄O₆] OU GLUCITOL, D-SORBIT

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 78. Sac de sorbitol (source: CAR ©)

Le sorbitol est utilisé comme édulcorant alimentaire et en tant qu'agent humectant dans la production de denrées alimentaires.

Le sorbitol est un solide transparent-blanchâtre inodore au goût sucré. Il est facilement soluble dans l'eau et est hygroscopique. Le sorbitol peut provoquer une explosion de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Dans des conditions normales, le sorbitol ne représente aucune menace pour la santé. En cas d'intolérance, l'ingestion de sorbitol peut provoquer des troubles gastro-intestinaux.

Aucune étude n'a encore été réalisée concernant les effets du sorbitol susceptibles de polluer l'eau. À titre préventif, il faut éviter d'en déverser dans le sous-sol et dans l'eau.

SACCHAROSE [C₁₂H₂₂O₁₁] OU SUCRE

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 79. Cristaux de saccharose en vrac
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 80. Saccharose en morceaux
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le saccharose est utilisé comme aliment et additif alimentaire, mais aussi dans la production d'alcools, de glycérides, d'explosifs et de combustibles.

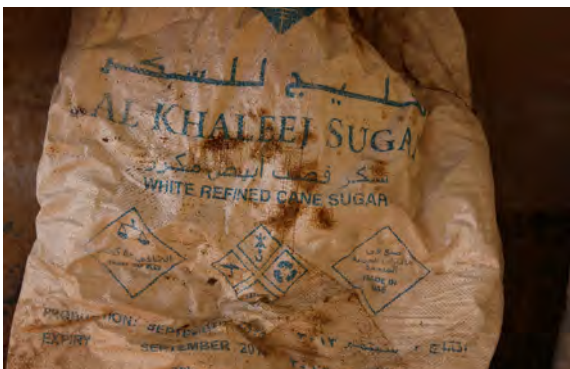


Image 81. Sachet de sucre (saccharose) (source : CAR ©)

Le saccharose est un glucide cristallin blanc. Il est inodore et a un goût sucré. Le saccharose se dissout dans l'eau et l'éthanol. Il peut provoquer une explosion de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Non documenté.

En grandes quantités, le saccharose présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.4.3. COMBUSTIBLES MÉTALLIQUES

La plupart des métaux utilisés pour produire des explosifs artisanaux sont des matières solides spontanément inflammables (pyrophoriques).



NOTE. Solides pyrophoriques – poudres et poussières métalliques finement dispersées qui peuvent se réchauffer dans l'air, réagir au contact de l'oxygène et s'enflammer à température ambiante sans stimuli externes. Leur inflammabilité dépend, entre autres, de la granulométrie et du degré de répartition. Plus les particules sont fines, plus la surface est grande et plus la pyrophoricité est importante.

Dans la mesure où les zones de stockage et de fabrication des explosifs artisanaux ne sont pas soumises à des normes d'hygiène industrielle, le personnel de l'action contre les mines qui se trouve confronté à de telles infrastructures doit être conscient du risque d'explosion combustible-air impliquant des métaux.

Les broyeurs, les robots culinaires, les polisseurs de pierres, entre autres, sont utilisés pour produire les particules fines requises. Le personnel de l'action contre les mines confronté à l'un de ces engins doit être conscient que leur ouverture peut entraîner une réaction spontanée lorsque de fines particules de métal entrent en contact et se mélangent avec l'oxygène atmosphérique entrant.

Le contact avec des poussières ou des poudres, ou leur inhalation, peut provoquer une irritation des yeux, du nez, de la gorge et des poumons.



AVERTISSEMENT. Les poudres métalliques fines peuvent réagir spontanément et violemment lorsqu'elles sont brusquement exposées à l'air atmosphérique.



AVERTISSEMENT. La poudre et les poussières de métal énumérées peuvent former des gaz inflammables au contact de l'eau.



AVERTISSEMENT. La poudre et les poussières métalliques sont sensibles aux décharges électrostatiques et ne doivent pas être manipulées sans procédure de mise à la terre préalable.

FINALITÉ DES MÉTAUX AGISSANT COMME COMBUSTIBLES DANS UNE RÉACTION ÉNERGETIQUE

Les combustibles métalliques qui réagissent avec un oxydant dans une réaction énergétique produisent de la chaleur (souvent plus de 2 000°C) et un oxyde métallique solide. Par exemple, la réaction de la poudre d'aluminium avec un oxydant produira de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3); la réaction de la poudre de magnésium avec un oxydant produira de l'oxyde de magnésium (MgO). Contrairement à d'autres combustibles, les combustibles métalliques ne contribuent pas à accroître le volume de gaz lors d'une décomposition explosive, mais plutôt à augmenter la chaleur d'une explosion. La hausse de la température entraîne une dilatation thermique très importante des autres produits gazeux. Cette dilatation accélérée augmente la pression dans la réaction. L'ajout de métaux contribue également à accroître l'effet incendiaire.

ALUMINIUM [Al]



Image 82. Aluminium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'aluminium a de multiples utilisations, notamment dans la production de véhicules et d'avions, le BTP, le génie civil et électrique, la fabrication d'objets du quotidien et d'emballages alimentaires non toxiques, notamment les films. La poudre d'aluminium est nécessaire pour produire des peintures métallisées et est également utilisée pour fabriquer des produits pyrotechniques, des thermites, des feux d'artifice et des explosifs.

L'aluminium est un métal solide blanc-argenté, brillant et ductile. On peut le trouver sous la forme de solide, de paillette et de poudre. Son éclat s'estompe rapidement au contact de l'air, du fait de la formation d'oxyde d'aluminium sur sa surface.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

La poudre d'aluminium peut chauffer à température ambiante dans l'air sans apport énergétique supplémentaire, puis s'enflammer. Son inflammabilité dépend notamment de la granulométrie et du degré de répartition. Au contact de l'eau, la poudre d'aluminium dégage des gaz inflammables.

Les agents d'extinction adaptés pour la poudre d'aluminium sont le sable sec ou les extincteurs d'incendie de métaux. Les agents d'extinction qui ne conviennent pas sont l'eau, la poudre sèche, la mousse et le dioxyde de carbone.

Aucune étude n'a encore été réalisée concernant les effets de l'aluminium susceptibles de polluer l'eau. Il faut éviter d'en déverser dans le sous-sol et dans l'eau.



Image 83. Aluminium (partiellement pulvérisé) (source: FSD ©)



Image 84. Bidon de pâte d'aluminium (source: CAR ©)

ÉLECTRON [Mg/Al]



L'électron est la désignation technique d'un alliage magnésium-aluminium, avec 86% de magnésium et 14% d'aluminium. Il se présente sous forme de solide mais peut être réduit en poudre. Il a été utilisé pour la fabrication de bombes incendiaires compte tenu de sa forte décomposition exothermique. L'électron brûle pour produire des températures supérieures à 2200°C, avec émission d'une flamme à haute intensité qui peut être aveuglante.

MAGNALIUM [Al/Mg]



Le magnalium est la désignation technique d'un alliage aluminium-magnésium contenant 2% à 5% de magnésium et de petites quantités d'autres éléments comme le fer ou le chrome. Il est utilisé comme composant de pièces de voiture et d'avion, outils en métal et enveloppes/structures métalliques solides. La poudre de magnalium est également utilisée comme combustible dans des produits pyrotechniques, brûlant à haute température (comme l'aluminium et le magnésium le font eux-mêmes) et formant des étincelles blanc-jaunâtre.

Le magnalium est un alliage dur gris-blanc. On peut le trouver sous forme de solide ou de poudre. Sa force et sa résistance à la corrosion dépendent du ratio aluminium-magnésium.

Aucune étude n'a encore été réalisée concernant les effets du magnalium susceptibles de polluer l'eau. À titre préventif, il faut éviter d'en déverser dans le sous-sol et dans l'eau.

MAGNÉSIUM [Mg]



Image 85. Magnésium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les alliages de magnésium sont utilisés dans la filière électrique et l'industrie de transformation des métaux. En raison de leurs propriétés énergétiques, ils sont utilisés comme allume-feu et comme composants de munitions incendiaires et de produits pyrotechniques (pour les fusées éclairantes qui brûlent dans un environnement pauvre en oxygène gazeux, comme sous l'eau, par exemple). Les alliages de magnésium sont utilisés dans des produits qui ont l'avantage d'être légers, comme les sièges de voiture, les tubages ou des produits domestiques tels que les appareils photo et les outils électriques.

Le magnésium est un métal solide blanc-argenté, brillant et ductile. On peut le trouver sous forme de solide, de comprimé et comme outils de coupe. Lorsqu'il brûle, le magnésium dégage une lumière blanche très forte et riche en rayons ultraviolets.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

La poudre de magnésium peut chauffer à température ambiante dans l'air sans apport énergétique supplémentaire et finalement s'enflammer. L'inflammabilité dépend notamment de la taille des particules et du degré de répartition. La substance forme des gaz inflammables au contact de l'eau.

Les agents d'extinction adaptés pour la poudre de magnésium sont le sable sec ou les extincteurs d'incendie de métaux. Les agents d'extinction qui ne conviennent pas sont l'eau, la poudre sèche, la mousse et le dioxyde de carbone.

Aucune étude n'a encore été réalisée concernant les effets du magnésium susceptibles de polluer l'eau. À titre préventif, il faut éviter d'en déverser dans le sous-sol et dans l'eau.

SODIUM [Na]



Image 86. Sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le sodium métallique est utilisé pour produire des composés de sodium. Il est extrêmement hygroscopique et sert d'agent dessiccateur dans plusieurs applications. Le sodium sert d'agent réducteur dans la métallurgie.

Le sodium est un métal cireux, blanc-argenté et brillant qui est si mou qu'il peut être coupé au couteau. Il est généralement recouvert d'une croûte gris-brun (hydroxyde de sodium et carbonate de sodium), qui protège le sodium par dessous. Dans l'air, le sodium brûle d'une flamme jaune.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le sodium est une substance inflammable mais qui s'enflamme difficilement. Au contact de l'eau, il dégage des gaz inflammables qui peuvent s'enflammer spontanément. Le sodium n'est pas volatil.

Les agents d'extinction adaptés sont le sable sec, le ciment sec ou les extincteurs d'incendie de métaux. Les agents d'extinction qui ne conviennent pas sont l'eau et le dioxyde de carbone.

Le sodium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

ZINC [Zn]



Image 87. Zinc

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le zinc est utilisé pour accroître la résistance des métaux à la corrosion, pour les matériaux de construction et les objets du quotidien, dans les batteries et dans l'industrie chimique. Le zinc et ses composés sont utilisés dans les produits pyrotechniques lorsque de faibles températures de combustion et une mise à feu rapide sont souhaitables. Les applications pyrotechniques du zinc et les composés du zinc sont les fumées d'hexachloroéthane.

Le zinc est un métal blanc bleuté. Dans l'air, il forme lentement une «rouille blanche» (carbonate d'hydroxyde de zinc), qui protège le zinc par-dessous. On peut le trouver sous forme de poudre. Le zinc brûle avec une flamme verte.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

La poudre de zinc peut chauffer à température ambiante dans l'air sans apport énergétique supplémentaire et finalement s'enflammer. L'inflammabilité dépend notamment de la taille des particules et du degré de répartition. La substance dégage des gaz inflammables au contact de l'eau.



AVERTISSEMENT. L'humidité augmente le potentiel d'auto-allumage de la poudre de zinc.

Les agents d'extinction adaptés pour la poudre de zinc sont le sable sec, l'argile, le biocarbonate de sodium et, exceptionnellement (rien d'autre de disponible), les extincteurs d'incendie de métaux. L'eau ne doit pas être utilisée comme agent d'extinction.

La poudre de zinc est extrêmement dangereuse pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

4.5. ADDITIFS ET CATALYSEURS

Cette sous-section présente les substances et les composants utilisés dans la fabrication d'explosifs artisanaux qui ne sont pas des acides, des combustibles ou des oxydants, ou qu'il s'agit de mettre en évidence en raison de leurs effets considérables sur la sensibilité et la stabilité d'un explosif artisanal.

4.5.1. RENFORÇATEURS ET AMADOU⁴⁸

les renforçateurs augmentent la sensibilité d'un explosif artisanal à l'allumage sous l'effet d'une flamme, de la chaleur, d'un choc, d'un frottement, etc.

L'amadou diminue la température d'allumage d'un explosif déflagrant.

Les renforçateurs chimiques et l'amadou sont des substances ou des composés qui contiennent des amines, du phosphore rouge, du soufre, des poudres métalliques, du verre en fines particules ou du gravier finement broyé. Un renforçateur physique, comme les vides d'air entre les cristaux explosifs, renforce un mélange explosif sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un additif chimique (référence à l'allumage d'un point sensible).

En général, les renforçateurs et l'amadou peuvent également être utilisés comme combustibles.



AVERTISSEMENT. Si l'on rencontre un explosif artisanal susceptible de contenir des renforçateurs ou de l'amadou ajouté(s), il convient de revoir et d'adapter les procédures d'atténuation des risques et de mise hors d'état de fonctionner afin d'éliminer tout risque résultant d'une augmentation de sa sensibilité et/ou d'une diminution de la température d'allumage.

PHOSPHORE [P] – PHOSPHORE BLANC ET PHOSPHORE ROUGE

Le phosphore est utilisé pour produire des pesticides, des engrais, des allumettes, des ignifugeants, des produits pyrotechniques fumigènes et des munitions incendiaires.

PHOSPHORE BLANC OU JAUNE



Image 88. Phosphore blanc

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

⁴⁸ Amadou : matériau hautement inflammable qui peut être adapté pour être utilisé comme allume-feu.

Le phosphore blanc est un solide cristallin blanc-jaunâtre dont la consistance est comparable à celle de la cire. Il noircit sous l'effet de la lumière. Le phosphore blanc a une odeur d'ail (à l'instar de certains composés phosphorés) et ne se dissout pas dans l'eau. Il émet une lumière verdâtre (visible dans l'obscurité) et dégage une fumée blanche au contact de l'air. Le phosphore blanc réagit violemment avec des agents oxydants.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le phosphore blanc s'enflamme spontanément au contact de l'air et est sensible à la chaleur, aux frottements et aux chocs. Il peut chauffer indépendamment et s'enflammera à température ambiante dans l'air sans apport énergétique supplémentaire. La température d'allumage à l'air sec est plus élevée qu'à l'air humide (30°C). Son inflammabilité dépend, entre autres, de la granulométrie et du degré de répartition. Le phosphore blanc brûle d'une flamme ardente.

Le phosphore enflammé cessera de brûler lorsqu'il sera complètement oxydé ou isolé de l'oxygène de l'air. Il brûlera la peau, la chair et les tissus et provoquera des blessures graves et sérieuses qui mettront du temps à cicatriser.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le phosphore blanc peut entraîner des lésions locales des muqueuses et de la peau en détruisant les tissus (nécrose). Il peut provoquer des troubles gastro-intestinaux, des lésions hépatiques avec des troubles métaboliques graves ainsi que des lésions cardiaques et rénales. La fumée du phosphore blanc brûlé irrite les yeux, les muqueuses, la peau et les voies respiratoires/poumons.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé) et le sable humide. Le dioxyde de carbone n'en est pas un. Si possible, le phosphore blanc en combustion doit être mouillé et recouvert d'eau ou de sable humide. Avant élimination, les résidus pourraient devoir être soumis à un traitement chimique afin d'éviter un rallumage spontané.



AVERTISSEMENT. Le phosphore blanc ne peut être éteint en permanence avec de l'eau; il convient de prendre d'autres mesures pour l'isoler de l'oxygène, sinon il se rallumera au contact de l'air dès que l'eau sera évaporée.



NOTE. Parmi les modifications possibles du phosphore, le phosphore blanc est le plus simple à produire mais aussi le plus toxique et le plus instable. Les deux modifications, rouge et blanc, augmenteront considérablement la sensibilité d'un explosif artisanal.

Le phosphore blanc est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.



AVERTISSEMENT. Le phosphore blanc ou jaune réagit dans l'air humide en chauffant et en formant de l'hydrogène phosphoré (phosphine) et de l'acide phosphorique, dégageant une odeur d'ail. Ces vapeurs sont extrêmement néfastes en cas d'inhalation.

PHOSPHORE ROUGE



Image 89. Phosphore rouge

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le phosphore rouge est une poudre rouge-violacée foncée. Cette modification artificielle du phosphore est inflammable, inodore et ne se dissout pas dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le phosphore rouge peut facilement être mis à feu par une brève exposition à une source d'ignition et continue de brûler après l'avoir retirée. Il présente un risque élevé d'incendie. Plus la substance est fine, plus on augmente le risque de mise à feu, notamment le risque d'explosion de poussières. Bien que le phosphore rouge ne s'enflamme pas spontanément dans l'air, un impact énergétique de faible intensité, un frottement ou une décharge électrostatique peuvent provoquer la mise à feu.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le phosphore rouge est considéré comme non toxique. Toutefois, l'évaporation du phosphore rouge dans un mélange combustible-oxydant génère une vapeur extrêmement toxique. Des fumées toxiques sont également émises lorsque le phosphore rouge est chauffé. La fumée des vapeurs de phosphore rouge brûlé n'est pas toxique en petite quantité mais peut irriter les yeux, la peau et les voies respiratoires.

Les agents d'extinction appropriés pour les incendies mineurs sont l'eau (jet pulvérisé), le sable humide ou les couvertures anti-feu humides. Il faut combattre les foyers importants par de l'eau pulvérisée. Les agents d'extinction adaptés sont la poudre sèche et le dioxyde de carbone.

Le phosphore rouge est peu dangereux pour l'environnement aquatique.



AVERTISSEMENT. Le phosphore rouge réagit dans l'air humide en chauffant et en formant de l'hydrogène phosphoré (phosphine) et de l'acide phosphorique, dégageant une odeur d'ail. Ces vapeurs sont extrêmement néfastes en cas d'inhalation.

SOUFRE [S] OU BRIMSTONE



Image 90. Soufre

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le soufre est utilisé pour produire l'acide sulfurique, les engrais sulfatés, et les colorants employés dans l'industrie pharmaceutique, et comme combustible dans les produits pyrotechniques et les propulseurs.

Le soufre est une substance solide stable jaune-jaunâtre. On peut la trouver sous forme de poudre ou de cristaux friables.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le soufre ne se dissout pas dans l'eau mais est soluble dans le benzène, l'aniline, le tétrachlorure et l'ammoniac liquide. Le soufre en tant que solide est difficilement inflammable mais, une fois fondu, il est facile à enflammer. Sous l'action de la chaleur, il brûle dans l'air d'une flamme bleue.



AVERTISSEMENT. Lorsqu'il est mélangé à un explosif artisanal, le soufre peut faire baisser la température de combustion à moins de 200° C, ce qui rend un explosif artisanal extrêmement sensible aux flammes et, compte tenu de la cristallinité du soufre, il diminue également la sensibilité aux chocs. Pour les explosifs artisanaux sensibles et moins stables qui sont contaminés par du soufre, les frottements dus au transport peuvent conduire à une décomposition spontanée. Des méthodes d'élimination appropriées doivent être envisagées en cas de contamination présumée par du soufre.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le soufre peut provoquer une irritation des yeux, ainsi qu'une irritation et une modification inflammatoire des muqueuses des voies respiratoires.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, la mousse et le dioxyde de carbone.

Le soufre présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.5.2. CATALYSEURS, RÉACTIFS, LIANTS ET FLEGMATISANTS

Les catalyseurs et les réactifs sont utilisés dans la fabrication d'explosifs artisanaux.

Les catalyseurs servent à accélérer le rythme d'une réaction chimique et permettent ainsi d'atteindre l'équilibre chimique plus rapidement. Ils ne se consomment pas pendant le processus.

Les réactifs sont des substances qui participent à la réaction chimique. Un réactif changera au niveau moléculaire. Presque tous les acides agissent comme réactifs.

Les liants sont utilisés afin de lier les mélanges explosifs et d'améliorer leur homogénéité. Les liants peuvent augmenter la résistance aux chocs mécaniques, comme c'est le cas pour les grains de propergol pendant le stockage et le transport. La rupture des grains de propergol modifierait la vitesse de combustion non sans risque de conséquences désastreuses, donc le liant réduit au minimum les chances pour qu'une telle situation se produise. Les asphaltes, les plastiques ou les résines sont les liants classiques.

Les flegmatissants sont utilisés pour réduire la sensibilité aux chocs et aux frottements d'un explosif, ou diminuer modérément la sensibilité à l'amorce et la vitesse de détonation. Ils désensibilisent un explosif. Les flegmatissants peuvent être des cires, qui lubrifient les cristaux explosifs et agissent également en tant que liants.



NOTE. La flegmatisation et la dilution réduisent la sensibilisation et la réactivité des explosifs artisanaux et des substances chimiques. En fonction de la substance utilisée (par exemple l'acétone), l'inflammabilité peut augmenter alors que la capacité de détonation est éliminée. La flegmatisation peut en outre influencer sur une méthode d'élimination. Certaines méthodes telles que la flegmatisation avec de l'eau ne doivent pas être considérées comme permanentes, puisque les flegmatissants peuvent s'évaporer ; l'effet peut ne pas durer et un explosif artisanal désensibilisé peut récupérer des propriétés similaires à celles qu'il avait avant traitement.



INDICE. Des flegmatissants peuvent être utilisés pour neutraliser la capacité d'amorçage d'un explosif improvisé en diminuant sa sensibilité à un niveau proche de zéro.



AVERTISSEMENT. Les catalyseurs et les réactifs sont généralement neutralisés dans la production d'explosifs militaires ou industriels. Dans les explosifs artisanaux, cela n'est généralement pas le cas et leur présence peut ainsi augmenter la sensibilité. Dans certains cas, les réactifs comme l'acide nitrique peuvent entraîner la mise à feu spontanée de certains explosifs artisanaux au fil du temps.

ACÉTONE [(CH₃)₂CO] OU CÉTOPROPANE, PROPANONE, DIMÉTHYLCÉTONE



Image 91. Acétone

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acétone est un solvant fréquemment utilisé, pour les laques, la soie d'acétate, mais également comme dissolvant, par exemple. En tant qu'agent gélifiant, elle joue un rôle dans la technologie des explosifs.

L'acétone est un liquide hautement volatil incolore, parfumé et très inflammable. Son point d'éclair est de -20°C.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Les vapeurs d'acétone forment des mélanges explosifs au contact de l'air à des concentrations de mélanges très faibles. L'acétone se dissout dans l'eau.

Des explosions et des réactions dangereuses peuvent se produire si de l'acétone entre en contact avec des acides (par exemple le peroxyde d'hydrogène, l'acide nitrique), des oxydants puissants et des combustibles (par exemple le bore, le sodium).

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'acétone peut avoir un effet irritant sur les yeux et les voies respiratoires supérieures. En fortes concentrations, elle peut provoquer des troubles du système nerveux central et a un effet narcotique.

La plupart des matières plastiques ne se prêtent pas au stockage de l'acétone, puisque c'est un solvant.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche et le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse résistant à l'alcool ou de l'eau pulvérisée.

L'acétone présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

TÉTRACHLORURE DE CARBONE [CCl₄] OU TÉTRACHLORMÉTHANE, BENZIFORM, TETRAFORM



Image 92. Tétrachlorure de carbone

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le tétrachlorure de carbone est très peu utilisé aujourd'hui en raison de sa toxicité et de son impact sur l'environnement. Il était utilisé dans les réfrigérateurs, le dégraissage de métaux, comme fumigeant pour les céréales, dans les pesticides, comme agent pour les extincteurs et pour le nettoyage à sec des textiles. Il est utilisé dans les explosifs improvisés à base de tétrachlorure de carbone et les produits pyrotechniques fumigènes improvisés.

Le tétrachlorure de carbone est un liquide incolore qui dégage une douce odeur nauséabonde. Il est volatil et ne se dissout pas dans l'eau. Il a un effet dégraissant et fait office de solvant.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le tétrachlorure de carbone n'est pas inflammable mais peut provoquer des incendies et des explosions lorsqu'il est mélangé à d'autres combustibles et d'autres réactifs. Des explosions et des réactions dangereuses peuvent se produire si du tétrachlorure de carbone entre en contact avec des métaux alcalins, des oxydants puissants et des métaux pulvérulents.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le tétrachlorure de carbone peut provoquer un effet irritant faible à modéré sur la peau et les muqueuses, de graves dommages au foie et aux reins, ainsi que des troubles du système nerveux central et gastro-intestinaux. L'inhalation de ses fumées peut s'avérer mortelle.

Les récipients de stockage non appropriés sont en aluminium, en cuivre, en zinc et leurs alliages, en fer et en caoutchouc. Les récipients non appropriés sont en acier inoxydable, en polytétrafluoroéthylène (PTFE/Teflon™)⁴⁹ ou en caoutchouc fluoré.

Le tétrachlorure de carbone est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

⁴⁹ Teflon™ est la marque commerciale du PTFE utilisé pour DuPont de Nemours, Inc. Teflon™ est une substance chimique quasi inerte. Il s'agit d'un solide blanc non combustible inodore qui ne se dissout pas dans l'eau. Des explosions et des réactions dangereuses peuvent se produire si le PTFE/Teflon™ entre en contact avec de l'aluminium pulvérulent, des métaux alcalins, de la farine ou de puissants oxydants.

SULFATE DE CUIVRE (II) [CuSO₄] OU SULFATE CUIVRIQUE



Image 93. Sulfate de cuivre. La poudre de sulfate de cuivre blanche et sèche devient bleue au contact de l'eau

Le sulfate de cuivre est utilisé dans les agents désinfectants contre les algues, pour produire des peintures et des agents de séchage, et dans les produits pyrotechniques, puisqu'il brûle d'une couleur bleu-verdâtre.

Le sulfate de cuivre est une poudre inodore blanche grisâtre. Il se dissout facilement dans l'eau et est hygroscopique.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le sulfate de cuivre est non-inflammable et ne provoque pas d'explosion de poussières.

Des explosions ou des réactions dangereuses peuvent se produire si le sulfate de cuivre entre en contact avec de l'acétylène, du chlorate de potassium, du magnésium pulvérulent ou des solutions alcalines à forte concentration (hydroxydes métalliques).

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le sulfate de cuivre peut avoir un effet irritant voire néfaste sur les muqueuses et la peau. En cas d'ingestion, il peut provoquer de graves troubles gastro-intestinaux, des problèmes circulatoires, des variations de l'hémogramme et des modifications fonctionnelles entraînant des troubles rénaux et hépatiques.

Le sulfate de cuivre est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

COTON [C₆H₁₀O₅]

Cette substance organique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 94. Coton

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le coton est principalement utilisé dans l'industrie textile; toutefois, lorsqu'il est traité avec de l'acide nitrique, le coton pur est utilisé pour fabriquer des explosifs et des propulseurs, notamment la nitrocellulose et l'acétocellulose.

Le coton se compose de plusieurs fibres organiques doux et extensibles. Sa couleur varie en fonction de l'espèce et de la transformation de la fibre récoltée. Le coton n'est pas soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le coton est inflammable. La poussière de coton peut provoquer des explosions de poussières.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Aucun comportement toxique particulier n'est connu.

Aucun risque pour l'eau n'est documenté.

ÉRYTHRITOL [C₄H₁₀O₄] OU PHYCITOL, PHYCITE, (APPELLATIONS COMMERCIALES VARIÉES)



Image 95. Érythritol

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'érythritol est un sucre quadricarboné que l'on trouve dans les algues, les champignons et les lichens. Il est deux fois plus doux que le saccharose et peut être utilisé comme vasodilatateur coronaire. Il est utilisé comme édulcorant et précurseur pour les explosifs militaires à base de tétranitrate érythritol (ETN) et le PETN.

Il s'agit d'un alcool de sucre cristallin, incolore-blanc au goût sucré et inodore.



Image 96. Sac d'érythritol

(source : Kräuterhaus Sanct Bernhard ©)

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'érythritol est inflammable, difficile à enflammer et se dissout dans l'eau.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La poudre et la poussière peuvent avoir un effet irritant sur les muqueuses.

L'impact de l'érythritol sur l'environnement aquatique n'est pas documenté.



Image 97. Éthylène glycol

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'éthylène glycol est utilisé comme agent antigel pour l'eau de refroidissement de moteur, comme fluide de dégivrage, comme plastifiant dans la plasturgie et pour fabriquer des explosifs. Il peut également être un composant de liquide de frein hydraulique.

L'éthylène glycol est un liquide visqueux, incolore et pratiquement inodore qui est miscible avec l'eau. Il est hygroscopique et n'est pas très volatil. Une couleur peut être ajoutée par les fabricants.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Des réactions dangereuses peuvent se produire si de l'éthylène glycol entre en contact avec de l'acide nitrique fumant, du permanganate de potassium, de puissants oxydants ou de l'acide sulfurique.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'éthylène glycol peut provoquer de légères irritations des muqueuses et de la peau. Il a un effet neurotoxique et provoque des troubles cardiovasculaires, des changements métaboliques et des lésions rénales.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont le verre, l'acier inoxydable, le PE, le PTFE, le PP et les caoutchoucs naturels. Il faut contrôler la résistance des matières plastiques avant utilisation.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche et le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse résistante à l'alcool ou de l'eau pulvérisée.

L'éthylène glycol présente un risque pour l'environnement aquatique.

FORMALDÉHYDE [CH₂O] OU MÉTHANAL



Image 98. Formaldéhyde

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le formaldéhyde est utilisé pour conserver les préparations biologiques et produire des matières plastiques ou des désinfectants.

Le formaldéhyde est un liquide ou un gaz pratiquement incolore qui dégage une odeur piquante et suffocante. Il est facilement soluble dans l'eau.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Sous forme gazeuse et liquide, le formaldéhyde est extrêmement inflammable et peut former des mélanges explosifs au contact de l'air.

Des explosions et des réactions dangereuses peuvent se produire si du formaldéhyde entre en contact avec de l'acide chlorhydrique, du peroxyde d'hydrogène, du carbonate de magnésium, de l'acide nitrique, du phénol, du permanganate de potassium, de l'hydroxyde de sodium ou de puissants oxydants.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le formaldéhyde est très toxique. Il peut avoir un effet irritant à corrosif sur les yeux et la peau, et un effet sensibilisant pour la peau (dermatites, réactions allergiques, éruptions pustulaires, etc.). Le formaldéhyde peut provoquer une irritation des voies respiratoires.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont l'aluminium, le verre, l'acier inoxydable ou le PE.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche et le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse résistante à l'alcool ou de l'eau pulvérisée.

Le formaldéhyde est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

HEXACHLOROÉTHANE [C₂Cl₆] OU PERCHLORÉTHANE, HEXACHLORURE DE CARBONE



Image 99. Hexachloroéthane

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hexachloroéthane est utilisé dans la fonte des métaux non-ferreux et pour produire des lubrifiants haute pression. Dans le domaine militaire, il est utilisé dans les produits pyrotechniques et comme charge pour les grenades fumigènes.

L'hexachloroéthane est une poudre cristalline incolore-blanche qui dégage une odeur de camphre (forte, odorante, aromatique-boisée, parfumée à l'eucalyptus).

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'hexachloroéthane n'est pas inflammable ni soluble dans l'eau. Il passe en phase gazeuse sans fondre et s'évapore au contact de l'air. L'hexachloroéthane émet des fumées toxiques lorsqu'il est chauffé jusqu'à décomposition.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'hexachloroéthane provoque des effets irritants sur les muqueuses et une légère irritation de la peau. Il peut également endommager l'appareil respiratoire. En fortes concentrations, il provoque des troubles du système nerveux central.

L'hexachloroéthane est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

HEXAMINE [C₆H₁₂N₄] OU ESBIT,⁵⁰ PASTILLES DE CARBURANT,
HEXAMÉTHYLÈNÉTÉTRAMINE, UROTROPINE



Image 100. Hexamine

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 101. Hexamine comprimée en tablette ESBIT

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hexamine est utilisée pour produire des matières plastiques à base d'amine et de phénol, comme conservateur alimentaire et comme tablettes de combustible sec. L'hexamine est une poudre cristalline blanche qui dégage une odeur de poisson⁵¹. On peut la trouver sous forme de poudre ou de tablette.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'hexamine est inflammable et peut facilement être mise à feu par une brève exposition à une source d'ignition et continue de brûler après l'avoir retirée. Plus l'hexamine est finement dispersée, plus on augmente le risque de mise à feu. Elle peut provoquer des explosions de poussières. L'hexamine se dissout facilement dans l'eau, est hygroscopique et sensible à l'humidité.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'hexamine entre en contact avec des acides (par exemple l'acide nitrique), des peroxydes ou des oxydants.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, la mousse et le dioxyde de carbone.

L'hexamine est moyennement dangereux pour l'environnement aquatique.

⁵⁰ ESBIT est l'abréviation de « Erich Schumms Brennstoff in Tablettenform », une ancienne marque commerciale.

⁵¹ Les amines sont dérivées de l'ammoniac; elles dégagent une odeur nauséabonde caractéristique de poisson (avarié). En raison des amines, le combustible sec brûlé comme l'ESBIT dégage une odeur de poisson.

HYDRAZINECARBOXIMIDAMIDE [CH₆N₄] OU AMINOQUANIDINE, PIMAGEDINE, GUANYL HYDRAZINE



L'aminoguanidine est utilisée dans la production de médicaments et la reproduction animale afin de protéger les spermatozoïdes de sanglier des effets délétères du stress oxydatif. Elle est utilisée dans les lotions, les shampooings, les savons et les dentifrices. La découverte d'aminoguanidine pure peut être un indicateur de la production de tétrazène. Les nitrates d'aminoguanidine sont utilisés pour les propulseurs.

L'aminoguanidine est un solide cristallin inodore incolore à blanc.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'aminoguanidine est soluble dans l'eau. Cette substance est inflammable mais s'enflamme difficilement.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'aminoguanidine provoque des irritations des muqueuses et une légère irritation de la peau. Elle peut également endommager l'appareil respiratoire.

L'aminoguanidine est moyennement dangereuse pour l'environnement aquatique.

IODE [I₂]



Image 102. Iode

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'iode est utilisé dans des applications médicales, comme les désinfectants. On peut le rencontrer dans la fabrication d'explosifs primaires improvisés.

L'iode est composé de cristaux pailletés gris-noir, métallisés, à l'odeur âcre qui s'évaporent progressivement dans l'air. Lorsqu'il est rapidement chauffé, l'iode se sublime pour former une vapeur immonde. Il n'est pas inflammable. L'iode est peu soluble dans l'eau. Il se dissout rapidement dans l'éthanol pour former une couleur brune et dans le benzène pour former une couleur rouge.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'iode est considéré comme particulièrement agressif en termes de pouvoir corrosif ; il décompose même le liège et le caoutchouc naturel. Une explosion ou une réaction violente peut se produire s'il entre en contact avec des métaux alcalins, de l'ammoniac, des composés ammoniacaux, du potassium associé à un choc, de l'iodure de potassium, du sulfate de tétramine cuivre, de l'oxyde de mercure et de l'éthanol/ du méthanol, de l'azoture d'argent, du fluor, des combustibles, du phosphore, de la poudre d'aluminium humide, des mélanges poudre d'aluminium-éther, de l'essence, du bore combiné avec la production de chaleur, de la poudre de fer, du formaldéhyde, du potassium combiné avec la production de chaleur, du lithium, du magnésium (poudre, humide), des acétylures/carbures métalliques, du soufre, de la térébenthine et de la poudre de zinc humide.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La vapeur d'iode peut avoir des effets irritants à corrosifs sur les yeux et la peau, et provoquer une grave irritation des voies respiratoires (risque de lésions pulmonaires). En cas d'ingestion, l'iode peut provoquer des dommages au système digestif, des troubles thyroïdiens, des troubles cardiovasculaires, des troubles métaboliques, ainsi que des troubles sanguins, hépatiques et rénaux.

L'iode est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

MERCURE [Hg]



Image 103. Mercure

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le mercure est utilisé dans les thermomètres médicaux, les interrupteurs (par exemple les interrupteurs à bascule) et les désinfectants, pour l'électrolyse dans l'industrie chimique, les décolorants et différentes lampes (par exemple les lampes fluorescentes). On peut rencontrer le métal dans des zones où l'on procède à l'extraction à froid. Le mercure est nécessaire afin de produire le fulminate de mercure (II) pour les explosifs primaires.

Le mercure est un métal liquide brillant, argenté et inodore. Il n'est pas combustible et ne se dissout pas dans l'eau. Le mercure est plus lourd que l'eau. Il est très légèrement volatil mais peut progressivement s'évaporer à température ambiante; dans des espaces clos, cela peut générer des concentrations dangereuses de mercure dans l'air.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire si du mercure entre en contact avec des métaux alcalins, des amines, de l'ammoniac, de l'acétylène, des métaux spécifiques (par exemple l'aluminium), de l'acide nitrique, du nitrométhane et de l'oxygène combiné à la chaleur, à l'acide picrique ou au carbure de sodium.



INDICE. Les gouttes de mercure liquide peuvent être nettoyées au moyen d'absorbants comme le Mercurisorb™.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le mercure métallique et ses composés solubles sont très toxiques. La vapeur de mercure provoque des intoxications chroniques qui provoquent de la nervosité, des maux de tête, des troubles de la mémoire, une détresse respiratoire, une réaction des muqueuses des yeux, un tremblement des mains et des paupières, des problèmes rénaux et une détérioration progressive du système nerveux central jusqu'à la mort. Une coloration noire sur le pourtour de la gencive est un signe d'intoxication au mercure. Les composés de mercure solubles en doses de 0,2 g à 1,0 g causent de graves symptômes d'intoxication, entraînant la mort en quelques jours.



AVERTISSEMENT. Le mercure métallique est particulièrement dangereux sous forme de vapeur, dans une moindre mesure sous forme de liquide finement dispersé et peu dangereux sous forme de gouttelettes de liquide compact. Le plus grand risque est l'inhalation de vapeurs concentrées, notamment du liquide chauffé en cas d'aération insuffisante. Dans ce cas, il y a danger de mort.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont le verre, la céramique, l'acier inoxydable et le fer. Ceux qui ne conviennent pas sont l'aluminium, le cuivre, l'or et ses alliages, l'argent et ses alliages, l'étain et ses alliages, ainsi que le zinc et les alliages de zinc.

Le mercure est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.



NOTE. La découverte d'un certain (grand) nombre de lampes fluorescents peut indiquer que du mercure a été prélevé pour fabriquer des explosifs artisanaux.

MÉTHANOL [CHOH] OU ALCOOL DE BOIS, CARBINOL, ALCOOL À BRÛLER, ALCOOL COLONIAL, ALCOOL MÉTHYLIQUE



Image 104. Alcool à brûler industriel (source : BCL ©)

Le méthanol est utilisé pour produire des substances chimiques, pour extraire l'eau des carburants automobiles et aéronautiques, pour produire des biocarburants, comme solvant pour les peintures et les matières plastiques et comme ingrédient dans divers produits comme l'antigel.

Le méthanol est un liquide incolore qui répand une odeur agréable à piquante, comme celle de l'alcool éthylique. Il est très volatil et facilement inflammable. Le méthanol se mélange complètement à l'eau. Ses fumées génèrent des vapeurs explosives au contact de l'air.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du méthanol entre en contact avec des acides (par exemple l'acide nitrique, l'acide sulfurique), des métaux alcalins, du peroxyde d'hydrogène ou des perchlorates.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le méthanol peut causer une irritation des yeux, des troubles du système nerveux central et des lésions oculaires systémiques.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont l'aluminium, les alliages de magnésium et les alliages de zinc. La résistance des matières plastiques doit être contrôlée avant utilisation.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche et le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse résistante à l'alcool ou de l'eau pulvérisée.

Le méthanol est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.



NOTE. Le méthanol toxique est ajouté à l'éthanol dans de nombreuses applications industrielles. L'ajout de méthanol permet de commercialiser l'éthanol à plus grande échelle, de façon à éviter les taxes sur les boissons alcoolisées (comme pour la bière, le vin ou le gin). Ces mélanges sont appelés alcools dénaturés ou alcool à brûler. Il est donc probable que le personnel de l'action contre les mines rencontrera des mélanges industriels de méthanol et d'éthanol qui ont une couleur pourpre caractéristique suite au processus de dénaturation et sont facilement reconnaissables.

NITROCELLULOSE [(C₆H₇(NO₂)₃O₅)_n] OU FULMICOTON, NITRATE DE CELLULOSE, PYROXYLE



Image 105. Nitrocellulose non transformée

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

La nitrocellulose est la désignation couramment employée pour les esters de nitrate de cellulose (nitrates de cellulose). Elle est utilisée pour la poudre à canon et dans la fabrication d'explosifs. La nitrocellulose improvisée, obtenue à partir de la nitration du coton, contient probablement des impuretés et un excédent d'agent nitrant, ce qui la rend extrêmement sensible à la chaleur/aux flammes et à l'auto-ignition au fil du temps.



Image 106. Barils utilisés comme conteneurs pour la nitrocellulose de fabrication industrielle (source : FSD ©)



Image 107. Étiquette sur un baril utilisé comme conteneur pour la nitrocellulose de fabrication industrielle (source: FSD ©)

COMPORTEMENT CHIMIQUE

La nitrocellulose est un solide constitué de fibres blanches. Elle est classée comme explosif, peut s'enflammer spontanément et produire des explosions de poussières. La nitrocellulose réagit aux chocs, à la chaleur et à d'autres sources d'ignition avec une décomposition rapide et la formation de grandes quantités de gaz. Le produit commercial doit être flegmatisé avec de l'eau ou de l'alcool. La nitrocellulose contenant 13,3% d'azote a une sensibilité aux chocs de 3 J, et sa sensibilité aux frottements est d'approximativement 353 N. En fonction des agents hydratants utilisés, le point d'inflammabilité de la nitrocellulose est compris entre 12°C et 35°C et commence à déflagrer à une température comprise entre 160°C et 180°C. La nitrocellulose est soluble dans l'acétone.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de la nitrocellulose entre en contact avec des acides, des alcalis ou des oxydants.

COMPORTEMENT TOXIQUE

La nitrocellulose pure n'est pas toxique, mais les flegmatisants, les agents hydratants, les impuretés d'azote non lavées ou les produits de décomposition peuvent avoir des effets toxiques.

Les dangers de la nitrocellulose pour l'environnement aquatique ne sont pas documentés. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

PHÉNOL [C₆H₅OH]



Image 108. Phénol

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le phénol est utilisé pour produire des colorants, des produits pharmaceutiques, des désinfectants, des matières plastiques et des conservateurs.

Le phénol est constitué de cristaux incolores (mais habituellement rougeâtre en raison des détergents) qui attaquent fortement la peau et provoquent l'apparition de taches blanches. Il se dissout dans l'eau dans une certaine mesure et a une forte odeur.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Le phénol est inflammable, ses vapeurs peuvent former des mélanges explosifs au contact de l'air lorsque la substance est chauffée à une température supérieure à son point d'inflammabilité (79°C). Tout contact avec de puissants oxydants et acides peut produire des explosions ou des réactions dangereuses.

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du phénol entre en contact avec de l'aluminium, du formaldéhyde, du peroxyde d'hydrogène, des solutions alcalines à forte concentration ou des oxydants.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le phénol peut provoquer des effets corrosifs sur les muqueuses et la peau, ainsi que des lésions oculaires graves. Il peut provoquer des troubles du système nerveux central et du système cardiovasculaire, et peut endommager les reins.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont le verre ou l'acier inoxydable. Il convient de contrôler la résistance des matières plastiques avant utilisation. Les matières inadaptées sont l'aluminium, le cuivre, le zinc et le caoutchouc.

Les agents d'extinction adaptés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche et le dioxyde de carbone. Il faut combattre les foyers importants par de la mousse résistant à l'alcool ou de l'eau pulvérisée.

Le phénol présente un risque pour l'environnement aquatique.

CHLORURE DE POTASSIUM [KCl] OU SYLVITE, NOSALT

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Des fiches de données sur Internet fournissent toutefois des informations chimiques et toxicologiques.



Image 109. Chlorure de potassium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le chlorure de potassium est utilisé comme matière première pour presque tous les composés de potassium et entre dans la composition de nombreux sels fertilisants. Il est utilisé comme exhausteur de goût et comme substitut du chlorite de sodium dans les sels artificiels à usage alimentaire (par exemple sous la marque NoSalt™). Il est utilisé pour la production improvisée de chlorure de potassium.

Le chlorure de potassium forme des cristaux solubles dans l'eau incolores-blancs au goût très salé, amer, et ne dégage aucune odeur.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

La substance n'est pas inflammable et ne peut provoquer d'explosions de poussières.

Le chlorure de potassium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

HYDROXYDE DE SODIUM [NaOH] OU SOUDE CAUSTIQUE, LESSIVE DE SOUDE, ASCARITE, CAUSTIQUE BLANCHE, HYDRATE DE SODIUM



Image 110. Hydroxyde de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hydroxyde de sodium est utilisé pour produire des sels de sodium, des savons, des détergents, des colorants, comme liqueur de confinement et pour produire de la cellulose.

L'hydroxyde de sodium est une masse blanche, cristalline, hygroscopique et très corrosive. Il se présente généralement sous forme de tablettes, de pastilles, de billes ou de paillettes. Dissout dans l'eau, l'hydroxyde de sodium forme de la soude caustique extrêmement corrosive. Il se dissipe dans l'air en absorbant l'humidité et le dioxyde de carbone de l'atmosphère.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'hydroxyde de sodium peut provoquer de graves irritations et avoir un effet corrosif sur toutes les muqueuses et la peau, en cas de contact. Il peut provoquer des dommages oculaires irréversibles (risque de cécité).



Image 111. Sacs de soude caustique en paillettes découverts à Mossoul, en Irak (source : GICHD ©)

Les matériaux adaptés pour les récipients sont l'aluminium, le laiton, l'étain et le zinc. Il convient de contrôler la résistance des matières plastiques avant utilisation.

L'hydroxyde de sodium présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

HYPOCHLORITE DE SODIUM [NaClO]



L'hypochlorite de sodium est utilisé dans les décolorants, les produits de désinfection et d'entretien des piscines, des textiles et des médicaments. Il est utilisé pour la production improvisée de chlorates.

L'hypochlorite de sodium est un liquide jaune qui dégage une odeur nauséabonde. Il peut être stocké uniquement dans des solutions aqueuses qui, en fonction de leur concentration, peuvent être très caustiques.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

L'hypochlorite de sodium peut exploser ou réagir violemment au contact d'acides, d'amines, d'ammoniac, d'oxydants et d'urée.

COMPORTEMENT TOXIQUE

L'hypochlorite de sodium peut provoquer des irritations et avoir un effet corrosif sur les muqueuses, les yeux et la peau.

Les matériaux adaptés pour les récipients sont le verre, la céramique et le PE.

L'hypochlorite de sodium est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

TÉTRACHLOROÉTHYLÈNE [C₂Cl₄] OU PERC, PERCHLOROÉTHYLÈNE, TETRALEX®, TETLEN



Image 112. Tétrachloroéthylène de qualité de laboratoire, 99%
(source : Th. Geyer Ingredients GmbH & Co. KG ©)

Le tétrachloroéthylène est principalement utilisé comme solvant dans le nettoyage à sec et le traitement des textiles, et dans la fabrication de fluorocarbures. La présence de tétrachloroéthylène peut être un indicateur de la fabrication d'explosifs liquides improvisés.

Le tétrachloroéthylène est un liquide non inflammable, incolore et volatil, qui dégage une odeur d'éther et peut émettre des fumées toxiques de phosgène lorsqu'il est exposé à la lumière du soleil ou à des flammes.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque du tétrachloroéthylène entre en contact avec des métaux alcalins, des solutions alcalines concentrées, de puissants oxydants ou des métaux pulvérulents.

COMPORTEMENT TOXIQUE

Le tétrachloroéthylène peut provoquer des irritations des muqueuses et de la peau, une altération du système nerveux central et, en cas de forte exposition, une insuffisance hépatique et rénale.

Le tétrachloroéthylène est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

URÉE [CO(NH₂)₂]

Cette substance chimique ne répond pas aux critères de seuil du SGH. Toutefois, des informations chimiques et toxicologiques sont disponibles dans des fiches de données sur Internet.



Image 113. Urée

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr©)

L'urée est utilisée dans les engrais, la poudre d'extinction d'incendies, les fluides de dégivrage, les additifs de carburant (par exemple AdBlue®), les produits cosmétiques et médicaux. L'urée est un précurseur pour le nitrate d'urée.

L'urée est une poudre cristalline blanche qui dégage une légère odeur d'ammoniac. Elle est non-inflammable, facilement soluble dans l'eau et hygroscopique. L'urée ne peut provoquer d'explosions de poussières.

COMPORTEMENT CHIMIQUE

Une explosion ou une réaction violente peut se produire lorsque de l'urée entre en contact avec du nitrate d'ammonium, du peroxyde d'hydrogène, des perchlorates (perchlorate de sodium), de puissants oxydants, des sources de chlore ou du tétrachlorure de titane.

L'urée présente peu de risques pour l'environnement aquatique.

4.6. EFFETS DU VIEILLISSEMENT

Cette sous-section examine la question du vieillissement et ses effets sur les explosifs artisanaux. Ce processus particulier n'est pas bien documenté dans le cas d'un certain nombre d'explosifs artisanaux; compte tenu du manque d'information, des observations d'ordre plus général seront par conséquent fournies.

Les effets du vieillissement ont une incidence sur la performance et la sécurité de tous les composants de munitions.

Outre les engins explosifs à proprement parler, les charges et les composants des dispositifs de mise à feu vieillissent également. En général, les effets du vieillissement sur les munitions militaires sont largement documentés. Dans ce contexte, le cycle diurne, soit l'exposition des munitions et des explosifs aux changements de température induits par le jour, la nuit et les changements de saison, est reconnu comme étant un problème potentiel.

Un explosif industriel doit remplir des critères très stricts en termes de vieillissement de manière à réduire au minimum les accidents lors du stockage, de la manipulation et de l'utilisation tout au long de sa durée de vie. Les explosifs artisanaux ne sont pas fabriqués selon ces normes. En général, le vieillissement des explosifs artisanaux ne saurait être assimilé à une amélioration de la sécurité, bien au contraire. Par conséquent, les explosifs artisanaux non identifiés présentant des signes de vieillissement ne doivent pas automatiquement être considérés comme stables ou désensibilisés.



Image 114. Effets du vieillissement sur des fusées à retardement pyrotechniques (source : GICHD ©)



Image 115. Vieil obus d'artillerie à effet antipersonnel dans un sol sablonneux. L'obus a été exposé à une explosion 65 ans avant sa découverte. La charge de TNT jaune-grisâtre, exposée à l'environnement, est en partie visible parmi les billes à fragmentation (source : GICHD ©)

Les études fiables sur les effets du vieillissement sur les propriétés explosives des explosifs artisanaux sont rares; la plupart des informations sont confidentielles, lorsqu'elles existent. Outre l'exposition à de multiples effets environnementaux (comme l'humidité ou les rayons du soleil, par exemple) ou une possible décomposition chimique au fil du temps, le cycle diurne peut vieillir les explosifs artisanaux.

Si certains explosifs artisanaux peuvent perdre leurs propriétés explosives au fil du temps, ils peuvent encore présenter des risques toxiques et caustiques particuliers. En outre, la décomposition chimique peut accentuer les risques toxiques ou caustiques, ou paradoxalement en favoriser l'émergence de nouveaux. Ces effets peuvent être portés ou accélérés par le matériau d'une enveloppe ou d'un contenant. La désintégration d'un contenant est par ailleurs bien plus susceptible d'influencer les effets du vieillissement sur les explosifs artisanaux que sur les munitions de type militaire.

- Le vieillissement peut avoir un effet important sur la stabilité et la sensibilité des explosifs artisanaux et leurs précurseurs chimiques.
- Les explosifs artisanaux peuvent se corroder et aboutir à la détérioration du matériau d'un contenant, des déclencheurs, des enveloppes, des détonateurs, entre autres.
- L'absorption d'eau peut désensibiliser les explosifs artisanaux; les oxydants ou les combustibles peuvent réagir au contact de l'eau.
- Les substances chimiques peuvent être affectées par la chaleur et les rayons du soleil, susceptibles d'augmenter ou de réduire la sensibilité, et de réduire la stabilité.
- Le cycle diurne (écarts de température entre le jour et la nuit) peut briser les charges explosives à l'intérieur des contenants, créant ainsi des lieux favorisant le développement de points sensibles lors de la manutention et du transport.
- La présence d'impuretés, d'explosifs utilisés dans des boosters ou d'additifs peut entraîner de nouvelles réactions chimiques, créant ainsi des substances instables au fil du temps.
- Les désensibilisateurs et les plastifiants peuvent s'évaporer, ce qui augmente la sensibilité et réduit la stabilité.
- Les fissures et les fractures accélèrent le comportement de combustion des propulseurs de manière incontrôlée.
- Certains explosifs artisanaux peuvent se vaporiser et se recristalliser, ou former des sels réactifs instables, dont certains possèdent des propriétés explosives, comme le chlorure d'ammonium et l'azoture de cuivre.
- Certains explosifs artisanaux peuvent s'être dissous dans l'eau et de nouveau solidifiés, formant ainsi des structures plus sensibles et instables.
- La concentration des flegmatisants dans un explosif artisanal peut diminuer, ce qui augmente la sensibilité.
- Compte tenu de l'effet hygroscopique, l'absorption d'eau dans un explosif artisanal peut entraîner une agglutination, ce qui augmente les performances explosives (par exemple le nitrate d'ammonium).
- Les impuretés, par exemple dans des récipients (réutilisés), peuvent également accélérer ou amplifier les effets du vieillissement.



AVERTISSEMENT. L'absorption d'humidité dans les couches externes exposées de certains explosifs artisanaux peut conduire à la formation d'une croûte solide sous l'action de la pluie, puis du soleil ou de la chaleur. Cela peut accroître la densité d'un explosif ou modifier l'équilibre chimique entre le combustible et l'oxydant. Pour éviter toute décomposition énergétique indésirable, il ne faut pas briser cette croûte avec une force mécanique.



Image 116. Percuteur armé d'un VS-500 corrodé par le temps (source: FSD ©)



Image 117. Les effets du vieillissement: poudre d'aluminium après séparation du nitrate d'ammonium (source: FSD ©)



Image 118. Vieillesse: Explosif inconnu employé dans l'industrie minière vieilli après avoir été entreposé dans un conteneur non climatisé sous les tropiques pendant une période indéterminée. L'enveloppe est détruite et la décoloration de l'explosif est reconnaissable. Il est impossible d'évaluer les effets chimiques du vieillissement sur l'explosif (source : Stanislav Damjanovic ©)



Image 119. Les effets du vieillissement: nitrate d'ammonium recristallisé (source : FSD ©)



Image 120. Baril de peroxyde d'hydrogène réutilisé comme contenant pour une charge principale d'explosif artisanal. Les résidus de peroxyde d'hydrogène peuvent également influencer sur le vieillissement d'un explosif artisanal (source: FSD ©)

5. EXPLOSIFS ARTISANAUX

Face au nombre important de combustibles et d'oxydants susceptibles d'être utilisés dans la fabrication d'un explosif artisanal, cette section sera consacrée aux principaux types d'explosifs artisanaux susceptibles d'être rencontrés par le personnel de l'action contre les mines. Elle décrira leurs caractéristiques, applications et dangers communs, en tenant compte des difficultés à obtenir ces données.

Si les sections 3 et 4 du présent chapitre ont fourni des détails sur l'aspect extérieur, les risques et dangers spécifiques des précurseurs chimiques, la présente section fournira des informations sur la manière dont les variables telles que la taille des particules, la qualité des matières premières et les impuretés agiront sur les propriétés chimiques d'un explosif artisanal. Des explosifs artisanaux identiques peuvent présenter une coloration, un aspect et une odeur différents, dans la mesure où les fabricants peuvent tenter de les maquiller pour entraver les opérations de fouille.

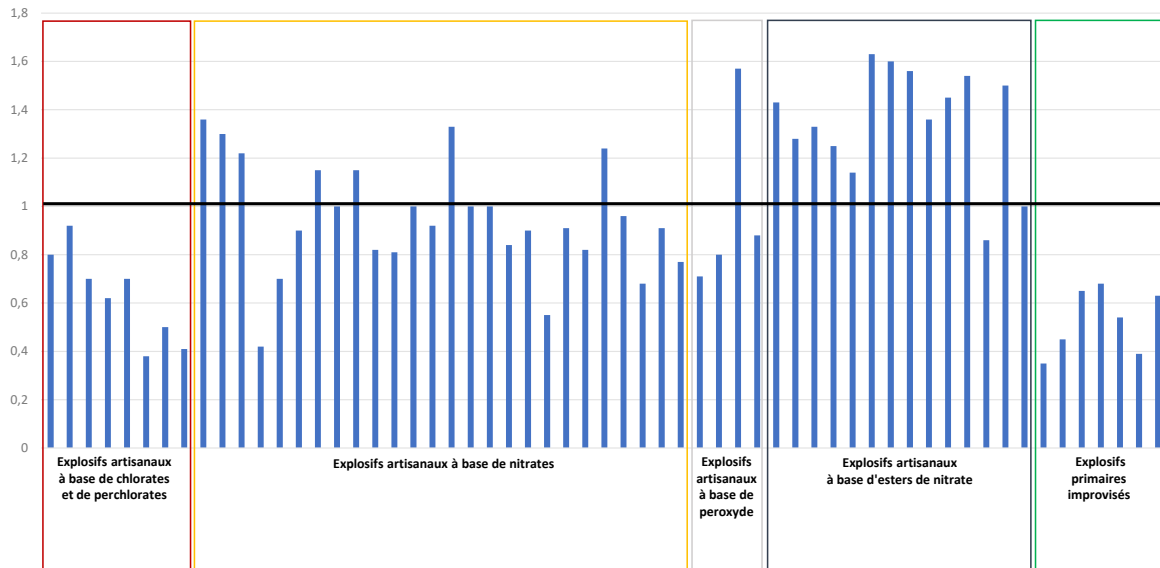


Tableau 10. Groupes les plus courants d'explosifs artisanaux hautement explosifs par rapport à leur équivalent TNT (TNT = 1) (source : BCL ©)

Le Tableau 10 illustre les écarts de performance de plusieurs milliers de compositions d'explosifs artisanaux rencontrées lors d'opérations militaires et de l'action contre les mines à travers le monde. Sur la base des informations fournies dans le Tableau 10, les compositions/mélanges d'explosifs artisanaux inconnus doivent être traités comme s'ils correspondaient à environ une fois et demie leur équivalent TNT, pour procéder aux évacuations.



NOTE. Il est essentiel de se rappeler que les paramètres de détonation, la sensibilité et la stabilité des explosifs artisanaux dépendent pour beaucoup :

- de la forme, la taille et la porosité des composants ;
- du rapport combustible/oxydant ;
- de la teneur en eau et les impuretés ;
- du diamètre de la charge ;
- des conditions de confinement (notamment le type et l'épaisseur du matériau du récipient) ; et
- de l'influence des additifs.



AVERTISSEMENT. Les explosifs artisanaux ne doivent pas être considérés plus sûrs à manipuler sous prétexte qu'ils sont signalés comme insensibles à l'amorce.

Aucune fiche de données de sécurité n'est disponible pour la plupart des explosifs improvisés. Afin de mettre en lumière leurs dangers possibles, la classification SGH de leurs précurseurs chimiques vient s'ajouter aux énumérations dans cette section. On peut supposer que les explosifs artisanaux suivent au moins la même classification SGH que leurs précurseurs chimiques. De plus, en guise d'avertissement et de rappel, le pictogramme SGH 01 (Bombe explosant – explosif instable) est également ajouté.

EXPLOSIF ARTISANAL – PRÉCURSEUR A – PRÉCURSEUR B – PRÉCURSEUR C			
Explosif artisanal	précurseur A	précurseur B	précurseur C

Tableau 11. Exemple de classification SGH d'un explosif artisanal et de ses précurseurs chimiques présenté dans cette section

5.1. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE CHLORATES ET DE PERCHLORATES

Les explosifs à base de chlorates sont des mélanges explosifs de sels d'acide chlorique (chlorates de métal alcalin) et de combustibles organiques riches en carbone. Ils sont plus sensibles aux chocs que les explosifs artisanaux à base de nitrates.

Claude-Louis Berthollet fut le premier à découvrir les propriétés énergétiques du chlorate de potassium une fois mélangé à des combustibles. Le mélange explosif de chlorate de potassium-soufre-charbon a été introduit en tant que poudre de Berthollet en 1785. Les explosifs chloratés à usage commercial sont le « rack-a-rock » ou la « cheddite ». Les explosifs à base de chlorates (par exemple la jonkit ou la lyddite) étaient utilisés par les militaires jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.

Aujourd'hui, les chlorates ne sont pas utilisés dans les explosifs commerciaux ou militaires compte tenu de leur forte sensibilité et de leurs faibles performances par rapport à d'autres substances chimiques plus modernes.



NOTE. L'utilisation d'explosifs artisanaux à base de chlorates ou de perchlorates a augmenté dans les pays et/ou les conflits où le nitrate d'ammonium est interdit en tant qu'engrais ou lorsque son utilisation est réglementée par une loi gouvernementale.

Les explosifs à base de perchlorates sont des mélanges explosifs de sels d'acide perchlorique et de combustibles riches en carbone. Ils sont plus sensibles aux chocs et aux frottements que les explosifs artisanaux à base de nitrates. On ne fabrique plus aujourd'hui d'explosifs perchloratés à usage commercial, dans la mesure où leur utilisation est considérée comme peu rentable.

La plupart des mélanges de chlorates/perchlorates et de combustibles organiques sont sensibles à l'amorce, et présentent un degré de sensibilité qui varie en fonction du type de combustible organique utilisé :

- Très sensibles au nitrométhane
- Sensibles à l'huile, au diesel

Les mélanges perchloratés sont considérés comme étant plus stables que les mélanges chloratés mais doivent également être considérés comme extrêmement sensibles aux chocs, aux frottements, aux décharges/étincelles électriques et à la chaleur.



NOTE. Lorsqu'on rencontre des explosifs artisanaux à base de chlorates ou de perchlorates, il est essentiel de connaître leur sensibilité et de comprendre qu'une présence d'impuretés (ce qui les rendra encore plus sensibles) est difficile à prévoir.

5.1.1. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE CHLORATE DE POTASSIUM

CHLORATE DE POTASSIUM



Image 121. Chlorate de potassium (source: BCL ©)

Le chlorate de potassium est un solide cristallin blanc stable présentant une faible toxicité, couramment utilisé comme agent oxydant dans la préparation de l'oxygène, et comme désinfectant. Il s'agit d'un puissant donneur d'oxygène avec 39,2% en masse d'oxygène, et il constitue le principal élément des compositions d'explosifs à base de chlorates, d'incendiaires, de formulations de primaires, de produits pyrotechniques et de têtes d'allumettes.

Le chlorate de potassium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment avec des substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, parfois sans autre source d'ignition, et peut attiser un incendie existant. Par rapport aux perchlorates ou aux nitrates, les explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium sont très sensibles, comme le montre le Tableau 8 à la section 4.

Le chlorate de potassium est plus sensible compte tenu de son point de fusion bas et de sa faible température de décomposition. En raison de ses caractéristiques physiques, très peu d'énergie est nécessaire pour amorcer une décomposition exothermique. Le processus devient même plus volatile si des combustibles à point de fusion bas sont également utilisés – dans ces circonstances, le mélange peut exploser par frottement ou léger impact.



AVERTISSEMENT. La présence simultanée de nitrate d'ammonium et de chlorate de potassium présente un risque élevé. Les deux substances chimiques réagissent avec l'humidité pour former du chlorate d'ammonium, qui se décompose spontanément de façon explosive. Ces explosifs artisanaux ne doivent, en aucun cas, être transportés ou stockés ensemble.

CHLORATE DE POTASSIUM-ALUMINIUM

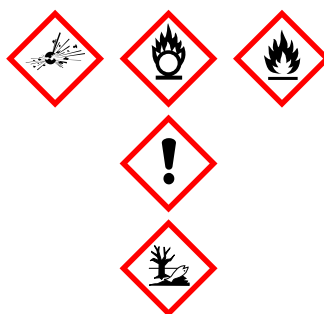


Image 122. Chlorate de potassium-aluminium
(source : BCL ©)

Cet explosif improvisé est une poudre gris-argenté, gris foncé, proche de la poudre noire. Plus l'aluminium est finement broyé, plus ce mélange est réactif et son aspect est sombre.



NOTE. Le chlorate de potassium mélangé à d'autres poudres métalliques formera également un explosif artisanal.

CHLORATE DE POTASSIUM-ALUMINIUM-SOUFRE

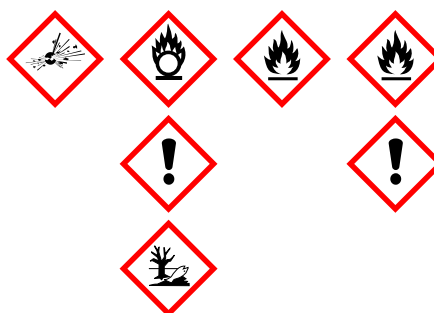
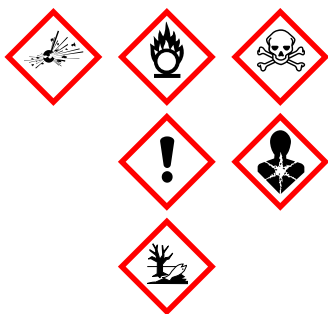


Image 123. Chlorate de potassium-aluminium-soufre
(source : BCL ©)

Cet explosif improvisé est un mélange de poudre grise granuleuse ou fine. Il présente une faible température d'allumage. Il est très sensible et très instable.

CHLORATE DE POTASSIUM-NITROBENZÈNE OU « RACK-A-ROCK »



Cet explosif improvisé est un mélange pâteux ayant un aspect blanc jaunâtre à l'odeur d'amande. Cet explosif artisanal est sensible à la chaleur, aux chocs et aux frottements.

CHLORATE DE POTASSIUM-PARAFFINE (HUILE POUR BÉBÉ) OU VASELINE



Image 124. Chlorate de potassium-vaseline
(source : BCL ©)



Image 125. Chlorate de potassium-vaseline
(source : BCL ©)

Dans les deux cas (mêlé à la paraffine ou à la vaseline), cet explosif improvisé est un solide ou un bloc blanchâtre semblable à du mastic. Connu sous le nom de «C4 du pauvre», il sert à fabriquer des explosifs plastiques improvisés.

En fonction de la quantité de combustible, l'explosif artisanal a une consistance plastique à semi plastique. Les deux mélanges, chlorate de potassium-paraffine et chlorate de potassium-vaseline, sont considérés comme moyennement sensibles aux stimuli mécaniques. La sensibilité aux chocs des mélanges à base de paraffine est supérieure à la sensibilité aux chocs des mélanges à base de vaseline.

Le rapport oxydant-combustible modifie la résistance de l'explosif artisanal. Les mélanges chlorate de potassium-paraffine atteignent une vitesse de détonation pouvant aller jusqu'à 3 620 m/s, alors que les mélanges chlorate de potassium-vaseline atteignent une vitesse de détonation allant jusqu'à 3 140 m/s. À titre de comparaison, le C4 destiné à un usage militaire (hexogène avec liants et plastifiants) a une vitesse de détonation pouvant aller jusqu'à 8 000 m/s.

CHLORATE DE POTASSIUM–PHOSPHORE ROUGE

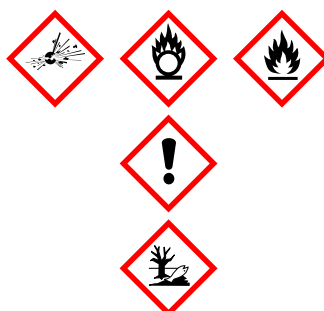


Image 126. Le mélange d'Armstrong

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Cet explosif improvisé est un mélange de poudre rouge granuleuse ou fine également appelé « mélange d'Armstrong » qui est très instable et très sensible. Certains fabricants ajoutent même du soufre afin d'accroître la sensibilité.

Le mélange d'Armstrong est considéré comme l'un des mélanges à base de chlorate de potassium les plus dangereux et l'une des compositions éclair les plus courantes (ou poudres éclair). En raison du phosphore rouge, il est extrêmement sensible à la chaleur et aux frottements, et sensible aux décharges électrostatiques. Il est connu pour se décomposer violemment pendant le processus de production. Il faut être extrêmement vigilant pendant la manipulation puisqu'il peut détoner au moindre choc ou contact ; sa réaction est imprévisible. Le mélange d'Armstrong est utilisé pour les allumettes et les amorces pour pistolet en plastique. Cet explosif artisanal peut être utilisé comme explosif primaire.

Le mélange d'Armstrong est utilisé pour les éléments d'allumage sans métal. Le personnel de l'action contre les mines peut être amené à rencontrer cet explosif artisanal lorsqu'il trouve des initiateurs à déclenchement mécanique/par pression ou sensibles à l'écrasement.



AVERTISSEMENT. Un mélange de chlorate de potassium et de phosphore rouge ne doit pas entrer en contact avec de l'acide sulfurique concentré, dans la mesure où une réaction violente peut se produire.

CHLORATE DE POTASSIUM–SACCHAROSE/SUCRE

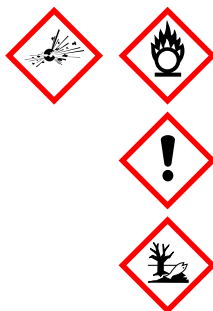


Image 127. Chlorate de potassium–canne à sucre
(source: BCL ©)

Cet explosif improvisé est un mélange de poudre granuleuse ou fine blanc-gris à gris-brunâtre. Le type de sucre utilisé (sucre blanc ou sucre brun, par exemple) peut modifier sa couleur. Dans le commerce, cette composition est utilisée dans les charges fumigènes de signalement. Il est considéré comme sensible et présente une faible température d'allumage.

On peut rencontrer des compositions de chlorate de potassium, de sucre et d'acide sulfurique. Ces mélanges peuvent s'enflammer instantanément.

5.1.2. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE CHLORATE DE SODIUM

CHLORATE DE SODIUM



Le chlorate de sodium pur ne possède pas de propriétés explosives. Lorsqu'il est mélangé avec du phosphore rouge, du soufre ou du sucre, la réactivité et les dangers du chlorate de sodium associé à des combustibles sont jugés équivalents à ceux des explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium.

CHLORATE DE SODIUM-ALUMINIUM

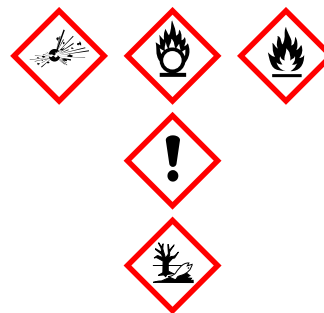


Image 128. Chlorate de sodium-aluminium
(source : BCL ©)

Il s'agit d'un solide cristallin ou granulaire noir-argenté avec une odeur non définie. C'est une matière explosive et inflammable. Les mélanges chlorate de sodium-aluminium étaient par le passé utilisés pour les poudres flash mais également comme propulseurs et incendiaires dans les compositions récentes d'explosifs artisanaux. Une détonation est très vraisemblable en confinement, et avec le diamètre critique et la densité de chargement appropriés.

CHLORATE DE SODIUM-KÉROSÈNE

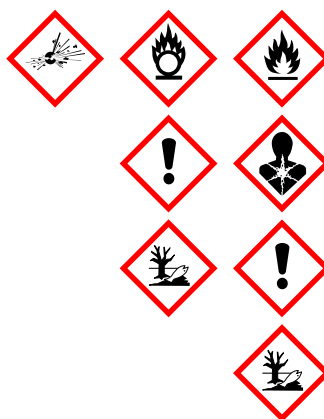


Image 129. Chlorate de sodium-kérosène

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Il s'agit d'un solide cristallin ou granulaire blanc ou brun-jaune avec une odeur non définie. C'est une matière explosive et inflammable.

CHLORATE DE SODIUM-NITROBENZÈNE

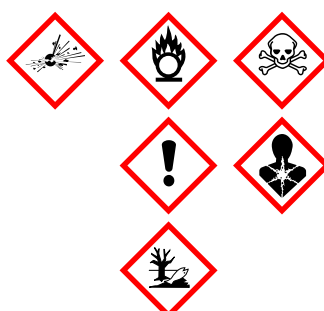


Image 130. Chlorate de sodium-nitrobenzène

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Il s'agit d'un solide cristallin blanc-jaune, qui peut s'enflammer spontanément lorsqu'il est mélangé au nitrate d'ammonium.



NOTE. Cet explosif artisanal est appelé « Co-Op » ou « Sucre Co-Op » car il a été utilisé lors d'un attentat perpétré en 1972 par l'IRA (l'Armée républicaine irlandaise provisoire) contre une boutique de la Belfast Co-Operative Society.

5.1.3. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE PERCHLORATE D'AMMONIUM

PERCHLORATE D'AMMONIUM



Le perchlorate d'ammonium est un solide très réactif possédant des propriétés explosives qui réagissent aux chocs, aux frottements, à la chaleur et à d'autres sources de combustion, formant une grande quantité de gaz avec une décomposition violente. Il est facilement soluble dans l'eau.

Le perchlorate d'ammonium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment au contact de substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer sans autre source d'ignition, et peut attiser un incendie existant. Lorsque le perchlorate d'ammonium est mélangé à des substances pulvérulentes inflammables, des explosions peuvent survenir.

Le perchlorate d'ammonium non stabilisé est un dangereux explosif. Dans un état stabilisé (par exemple avec 10% d'eau), il n'est pas explosif mais est susceptible d'attiser un incendie. Mélangé à des substances organiques, le perchlorate d'ammonium stabilisé et non stabilisé possède des propriétés explosives.

PERCHLORATE D'AMMONIUM-ALUMINIUM

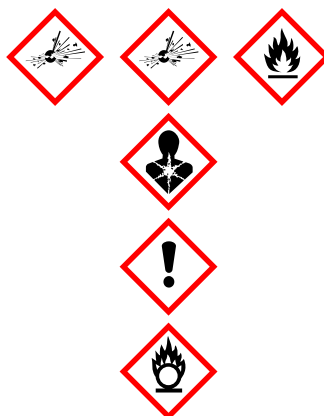


Image 131. Perchlorate d'ammonium-aluminium
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Cet explosif improvisé est un mélange granuleux dont la couleur varie du blanc, de l'argente ou du gris à quasi-anthracite. Plus l'aluminium est broyé finement, plus il est réactif et plus il est foncé. Cet explosif artisanal est extrêmement sensible à la chaleur, aux chocs et aux frottements.

PERCHLORATE D'AMMONIUM-SAVON

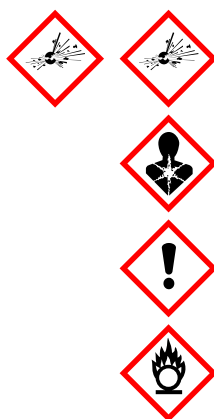


Image 132. Perchlorate d'ammonium-savon

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Cet explosif improvisé est un solide ayant une consistance de pâte/mastic. En fonction du savon utilisé, sa couleur varie du blanc, du beige et du vert clair au brun. Son odeur varie également. Cet explosif improvisé est inflammable et explosif.

5.1.4. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE PERCHLORATE DE POTASSIUM



Image 133. Chlorate de sodium–vaseline, montrant le même aspect que celui du mélange perchlorate de potassium–vaseline (source : BCL ©)

Les mélanges perchlorate de potassium-combustible sont légèrement moins sensibles que les mélanges chlorate de potassium-combustible compte tenu de la température de décomposition thermique plus élevée des premiers (610° C par rapport à 356° C).

Les mélanges d'explosifs artisanaux possibles et leurs performances sont équivalents à ceux énumérés à la sous-section 5.1.1. (Explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium) ci-dessus, (notamment les explosifs plastiques improvisés).

Le perchlorate de potassium est très incendiaire mais a une bonne durée de conservation. Les mélanges contenant du soufre, du phosphore et des poudres métalliques s'enflamment à basse température. Ils peuvent être préparés pour exploser avec un simple coup de marteau.



NOTE. Les mélanges d'explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium/sodium et perchlorate de potassium/sodium sont extrêmement difficiles à différencier sans une analyse chimique, et ont une apparence semblable (voir l'image 125 et l'image 133). C'est pourquoi aucune autre photographie supplémentaire de mélanges d'explosifs artisanaux à base de perchlorate de sodium ou de perchlorate d'ammonium n'est fournie. Tous les composés censés être d'origine chloratée ou perchloratée doivent être traités comme des mélanges d'explosifs artisanaux à base de chlorate de potassium.

5.2. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE NITRATES

Les explosifs à base de nitrates sont des mélanges explosifs de sels d'acide nitrique et de combustibles liquides ou solides riches en carbone et se révèlent insensibles aux chocs et aux frottements; les mélanges d'explosifs artisanaux nécessitent souvent un booster, en fonction du type de nitrate et de combustible utilisés.

Johann Rudolph Glauber⁵² a été le premier à produire du nitrate d'ammonium. Le premier explosif utilisant du nitrate d'ammonium a été breveté en 1876 par deux scientifiques suédois. Le nitrate d'ammonium de type militaire a été utilisé jusqu'à la Seconde Guerre mondiale dans des explosifs secondaires et des propulseurs, comme l'alumatol, l'amatex, l'amatol et l'ammonal. Le nitrate d'ammonium est utilisé dans les explosifs commerciaux, pour l'industrie minière par exemple. Ces explosifs commerciaux, comme la dynamite ou la gélinite à base d'ammonium, sont produits sous forme de poudres, de granules, de gels ou de pâtes. Aujourd'hui, l'utilisation du nitrate d'ammonium dans les explosifs artisanaux est répandue du fait de sa disponibilité partout dans le monde, en fonction de son utilisation dans les engrais.



AVERTISSEMENT. Les normes de sécurité applicables aux explosifs commerciaux à base de nitrate d'ammonium (par exemple manipulation et déplacement en toute sécurité) ne doivent pas être considérées comme suffisantes pour les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium. Avoir une fausse impression de sécurité peut être fatal pour le personnel de l'action contre les mines.

5.2.1. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE NITRATE D'AMMONIUM



Une grande partie du nitrate d'ammonium utilisé dans les explosifs artisanaux est recueillie à partir d'engrais, du nitrate d'ammonium industriel volé (pour être utilisé comme explosif commercial) ou de pains de glace dans la chaîne d'approvisionnement en fournitures médicales. L'utilisation du nitrate d'ammonium dans les explosifs artisanaux s'avère bon marché par rapport à d'autres oxydants. Cela compense l'inconvénient que certaines compositions nécessitent d'importantes charges explosives pour pouvoir détoner.

Le nitrate d'ammonium est très hygroscopique. Sous forme de poudre pure ou cristalline, il a la particularité de s'agglomérer pendant son stockage. Il est très soluble dans l'eau; par exemple, 1,8 kg de nitrate d'ammonium peut être dissout dans 1 litre d'eau chaude à 20°C. Le nitrate d'ammonium pur est extrêmement difficile à faire détoner. Ainsi, les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium sont généralement des mélanges de nitrate d'ammonium avec 2 à 10% de supports de carbone comme la sciure, l'huile ou le charbon. Le nitrate d'ammonium est par ailleurs utilisé pour modifier la vitesse de détonation d'autres explosifs, comme la nitroglycérine dans ce que l'on appelle les dynamites d'ammoniac, ou comme agent oxydant dans l'ammonal, un mélange de nitrate d'ammonium et d'aluminium pulvérulent. Dans ce deuxième cas, la puissance du nitrate d'ammonium (chaleur de l'explosion et volume de produits gazeux généré) est amplifiée. On peut également le trouver mélangé à du TNT, qui, dans ce cas, agit en tant que renforçateur.

⁵² Glauber est un pharmacien et un chimiste allemand qui a élaboré différentes mesures pour produire des acides et des sels.



AVERTISSEMENT. On peut également rencontrer des mélanges nitrate d'ammonium-chlorate de potassium, qui peuvent devenir dangereusement instables. Le chlorate d'ammonium, formé au contact de ces deux substances, a tendance à exploser spontanément. Il est important de comprendre que cette formation se produira au contact du nitrate d'ammonium avec n'importe quelle source de chlorate. Conséquence directe du vieillissement, la formation de chlorate d'ammonium rend la stabilité de tels mélanges impossible à évaluer; par conséquent, il ne faut jamais transporter ou stocker ensemble du nitrate d'ammonium et du chlorate d'ammonium.



Image 134. Mélange nitrate d'ammonium-chlorate de potassium.
Remarque: ce mélange a été traité dans des conditions de laboratoire
(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate d'ammonium pur a une sensibilité aux chocs de 49 J et une sensibilité aux frottements de 353 N, pouvant augmenter en fonction des combustibles utilisés, des additifs et des impuretés. Par exemple, l'Ammonit3, un explosif à base de nitrate d'ammonium à usage commercial mélangé avec des additifs dont l'aluminium, a une sensibilité aux chocs de 12 J.



AVERTISSEMENT. Le nitrate d'ammonium est extrêmement réactif avec le cuivre et le zinc. Ces mélanges sont très instables et exploseront en chauffant. Le personnel de l'action contre les mines doit en tenir compte s'il/lorsqu'il s'agit de manipuler, de déplacer ou d'éliminer de telles substances.

La plupart des mélanges d'explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium (à l'exception de l'ANAL, nitrate d'ammonium-aluminium et de l'ANNM, nitrate d'ammonium-nitrométhane) sont généralement insensibles à l'initiation par un détonateur seul et nécessitent un confinement et un booster. Par conséquent, l'ANFO (nitrate d'ammonium-fioul), l'ANNIE (nitrate d'ammonium-nitrobenzène), l'ANS (nitrate d'ammonium-sucre) et l'ANIS (nitrate d'ammonium-sucre glace) sont qualifiés d'explosifs tertiaires. Ces mélanges ont une faible vitesse de détonation (et sont donc inadaptés pour propulser des projectiles anti-blindés comme des charges creuses et des projectiles formés par explosion), ne sont pas faciles à amorcer en petites quantités mais ont une impulsion spécifique analogue à celle du TNT, ce qui les rend parfaitement adaptés aux applications nécessitant l'utilisation d'explosifs. L'expérience pratique de l'utilisation des mélanges d'explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium (à l'exception de l'ANAL et de l'ANNM) montre bien qu'ils sont insensibles à une initiation par des projectiles de calibre 0,5.



Image 135. Plaque de projectile formée par explosion, Mossoul, Irak (source: GICHD ©)

Le nitrate d'ammonium n'est pas un explosif idéal, parce que les charges nécessitent un niveau de confinement élevé et un diamètre critique important. C'est pourquoi on rencontre généralement des charges excédant 20 kg. Le nitrate d'ammonium avec une densité de 1,4 g/cm³ est répertorié avec une vitesse de détonation de 2 500 m/s. Une vitesse de détonation plus élevée allant jusqu'à 3 500 m/s peut être atteinte en fonction des combustibles utilisés.⁵³

COMBUSTIBLES SOLIDES ORGANIQUES/INORGANIQUES

Par rapport aux autres explosifs artisanaux, la production et la manipulation de mélanges d'explosifs artisanaux nitrate d'ammonium-combustible solide organique/inorganique sont jugées sûres. En général, ces explosifs artisanaux sont sensibles à l'amorce mais nécessitent un booster pour assurer une décomposition complète. Ils présentent une faible sensibilité et sont physiquement stables.

COMBUSTIBLES MÉTALLIQUES SOLIDES

En général, ces explosifs artisanaux sont sensibles à l'amorce et peuvent ne pas nécessiter de booster, étant donné que les particules métalliques créent des lieux de frottement favorisant le développement de points sensibles. Ce comportement dépend de la densité de chargement et de la granulométrie du combustible métallique. Les mélanges nitrate d'ammonium-combustible métallique ont une sensibilité supérieure à celle des combustibles organiques mais restent physiquement stables. On a rencontré des charges viables pesant moins de 20 kg.

COMBUSTIBLES LIQUIDES

Les compositions d'explosifs artisanaux liquides comme l'ANNM sont physiquement moins stables et sont sensibles à l'amorce.

La sensibilité et la puissance des explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium sont largement influencées par le type de combustible, la densité de chargement et la présence de bulles d'air (qui favorisent le développement de points sensibles). Les combustibles liquides peuvent véritablement s'infiltrer dans de la poudre et des granules poreux, déplaçant l'air présent dans les pores, pour ainsi garantir un contact étroit entre le combustible et l'oxydant. Cela simplifie la mise à feu du mélange explosif par rapport à d'autres combustibles. Les combustibles en poudre ne peuvent s'imprégner dans la poudre ou les granules poreux et ne sont donc pas aussi efficaces dans le mélange.

⁵³ UK Defence Evaluation and Research Agency (DERA), Preuves physiques et chimiques restant après l'explosion de gros engins explosifs improvisés (DERA/CES/FEL/CR9802, mars 1998).



INDICE. Il est possible d'évaluer la qualité, le contenu et les risques des produits chimiques conditionnés industriellement à l'aide des informations figurant sur les étiquettes d'emballage, notamment les pictogrammes, les indications, le(s) numéro(s) de référence du lot/de série, les dates de fabrication, les codes-barres, etc. Selon le fabricant, des fiches de données de sécurité peuvent être disponibles même sur le site web d'une société. Il est par conséquent recommandé de recueillir toutes les informations figurant sur l'emballage du produit chimique.

EXEMPLE : ÉTIQUETAGE DES ENGRAIS

Le nitrate d'ammonium est une source d'azote pour les engrais mais tous les engrais à base d'azote n'utilisent pas du nitrate d'ammonium. C'est pourquoi il est utile de connaître la nomenclature utilisée pour les engrais, afin de pouvoir évaluer les dangers et le contenu possibles. Les engrais sont munis d'une étiquette portant un numéro appelé NPK, un code à trois chiffres exprimant le ratio des trois éléments essentiels à la croissance des plantes dans l'ordre suivant: azote (N), phosphore (P) et potassium (K).

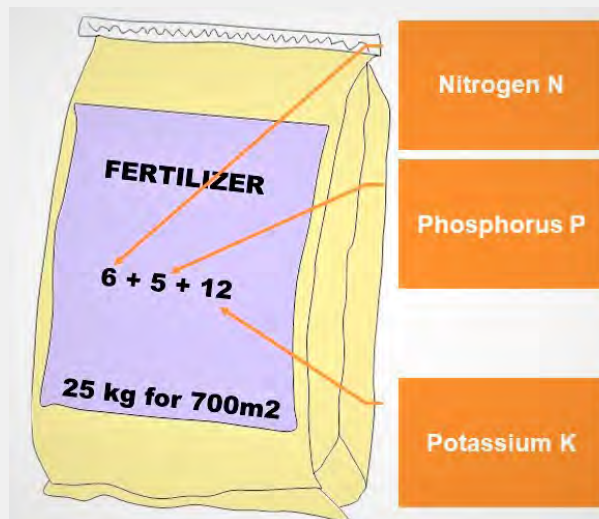


Figure 7. Exemple d'étiquetage NPK sur un sac d'engrais (source : GICHD ©)



Image 136. Étiquetage sur un sac de nitrate de potassium (source : CAR ©)

N correspond à la proportion de sources d'azote, comme le nitrate d'ammonium ou l'urée. P fait référence au pourcentage de sources de phosphore, comme le pentoxyde de phosphore. K se rapporte au pourcentage de sources de potassium, comme l'oxyde de potassium. Le numéro NPK peut être étiqueté comme suit: N-P-K, N:P:K ou N+P+K.

Les engrais azotés ne contiennent pas tous du nitrate d'ammonium. Le numéro NPK peut révéler le contenu, comme suit:

- Phosphate d'ammonium NPK 16-20-0
- Sulfate d'ammonium NPK 21-0-0
- Nitrate d'ammonium calcique NPK 27-0-0
- Nitrate d'ammonium NPK 34-0-0
- Urée NPK 46-0-0

L'étiquetage des engrais à base de nitrate d'ammonium peut parfois induire en erreur. Par exemple, le pourcentage massique de l'azote dans le nitrate d'ammonium pur est de 35%. Sous cette forme, il est extrêmement difficile à faire détoner à moins qu'il ne soit confiné et exposé à un stimulus. Des études ont démontré que si la teneur en nitrate d'ammonium d'un engrais est limitée à une concentration en poids de 80% (le pourcentage massique en azote est de 28%), sa capacité de détonation est alors considérablement réduite.

Le nitrate d'ammonium industriel contiendra généralement de très fortes concentrations de nitrate d'ammonium (plus de 80%), ce qui explique qu'il est tellement efficace dans les applications de dynamitage lorsqu'il est mélangé au fioul. Il est donc important de saisir la signification du pourcentage figurant sur tout emballage de nitrate d'ammonium récupéré, afin de comprendre l'efficacité des mélanges d'explosifs artisanaux potentiels à base de nitrate d'ammonium que l'on peut rencontrer. En fait, l'emballage indique parfois la concentration en poids, alors qu'à d'autres occasions il affiche la teneur en azote. Le sac de nitrate d'ammonium sur la photo ci-dessous indique nitrate d'ammonium «AN% 33 N», ce qui signifie que l'engrais contient approximativement 94% de nitrate d'ammonium en poids ($33/35 \times 100\%$), une très bonne source de nitrate d'ammonium destiné à être utilisé dans la fabrication d'explosifs artisanaux.



Image 137. Nitrate d'ammonium de qualité engrais récupéré en Irak (source: CAR ©)

L'image 138 ci-dessous identifie une source de nitrate d'ammonium qui indique « pas moins de 98,5% ». Cela signifie que la source de nitrate d'ammonium correspond à 98,5% de nitrate d'ammonium mélangé à d'autres additifs. Autrement dit, la source contient au moins un pourcentage massique en azote de 34,5% et est donc bien au-dessus d'un pourcentage en masse d'azote de 28%, ce qui en fait une autre excellente source pour des applications liées aux explosifs artisanaux.



Image 138. Engrais à haute teneur en azote dans un état contaminé (source : BCL-FA ©)

AMMONIUM NITRATE–ALUMINIUM [ANAL]

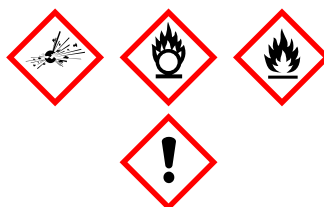


Image 139. Nitrate d'ammonium–aluminium
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'ANAL est un mélange de granules en vrac ou de poudre granuleuse blanc-gris ou anthracite. Il est inodore mais peut dégager une légère odeur d'hydrocarbure (aromatique, d'essence) s'il est mélangé à du fioul. L'ANAL est un mélange explosif très puissant, puisque l'aluminium apporte un complément de chaleur à l'explosion. L'ANAL est inflammable et peut être rencontré sous forme de petites charges. Il présente une résistance supérieure à celle du nitrate d'ammonium pur.

NITRATE D'AMMONIUM-FIOUL [ANFO OU ANC]



Image 140. Granules de nitrate d'ammonium-fioul
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 141. Nitrate d'ammonium cristallin-fioul
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 142. Nitrate d'ammonium-fioul avec booster de HMTD (source : BCL ©)

L'ANFO peut être un explosif artisanal crème, brun, rose ou orange, en fonction du combustible et des autres additifs utilisés. Il peut apparaître sous forme de granules ou de solide à l'aspect pâteux. Lorsqu'il est mélangé au diesel, il peut être huileux et dégager une odeur d'hydrocarbure ou d'ammoniac. L'ANFO est inflammable.



INDICE. Avant de procéder à sa destruction, il est essentiel de savoir que :

- l'ANFO improvisé est un explosif tertiaire qui nécessite un booster.
- l'ANFO improvisé ne peut être amorcé en petites quantités et nécessite une certaine mesure de confinement.
- sans confinement, il est probable que l'ANFO improvisé puisse juste être éparpillé sur la zone en raison d'une détonation incomplète à moins qu'il n'y ait une agglomération conséquente.

NITRATE D'AMMONIUM–NITROBENZÈNE [ANNIE]

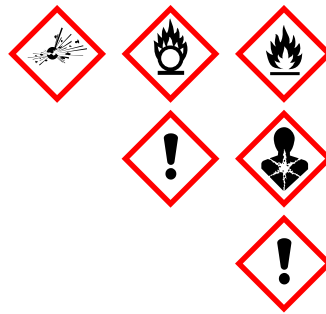


Image 143. Nitrate d'ammonium–nitrobenzène

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'ANNIE est un solide cristallin jaune-crème ou gris clair-brun regroupant des odeurs variées en fonction de la source du nitrobenzène. Il peut dégager une odeur d'amande, de massepain ou des arômes doux et fruités. En général, les odeurs sont qualifiées de désagréables.

L'ANNIE est plus sensible aux chocs que l'ANFO.

NITRATE D'AMMONIUM–NITROMÉTHANE [ANNM]

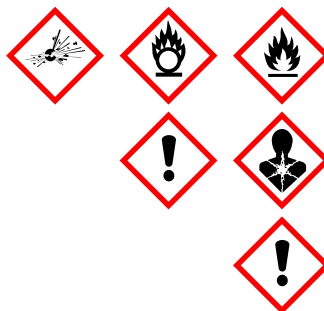
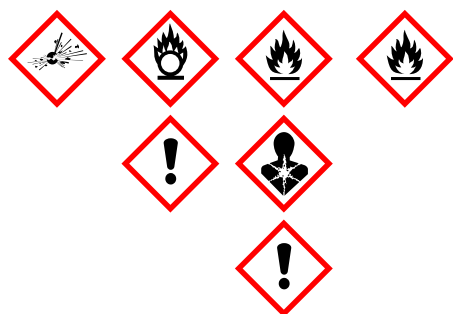


Image 144. Nitrate d'ammonium–nitrométhane
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Ce mélange sensible à l'amorce peut être improvisé mais est également disponible dans le commerce, par exemple le KINEPAK®. Le KINEPAK® commercial est un explosif binaire; le nitrate d'ammonium et le nitrométhane sont emballés séparément et mélangés avant utilisation.

L'ANNM est un explosif blanc-rose pâle ayant l'apparence de sable humide ou de pâte dentifrice une fois mélangé. En général, le nitrate d'ammonium est utilisé comme poudre. Il est considéré comme très insensible et stable à des températures et pressions normales, et est sensible à l'amorce. Tout contact avec des matériaux combustibles, des métaux, des sels métalliques, des combustibles et des oxydants doit être évité.

NITRATE D'AMMONIUM–NITROMÉTHANE–ALUMINIUM [ANMAL]



L'ANMAL est un explosif blanc-gris à anthracite ayant l'apparence de sable humide ou de pâte dentifrice une fois mélangé. Il est sensible à l'amorce et ne nécessite pas de booster.

NITRATE D'AMMONIUM-SUCRE [ANS/SUCRE GLACE, ANIS]

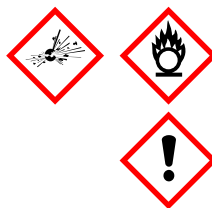


Image 145. Nitrate d'ammonium-sucre

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'ANS est un mélange granuleux et/ou poudreux blanc-crème ; le sucre influe sur l'apparence du mélange.
L'ANS/ANIS nécessite un booster.

AUTRES MÉLANGES NITRATE D'AMMONIUM-COMBUSTIBLE RENCONTRÉS :

NITRATE D'AMMONIUM-POUDRE DE CARBONE

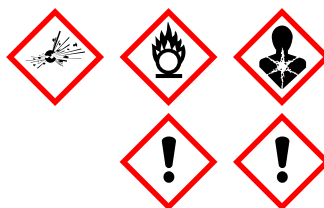


Image 146. Nitrate d'ammonium-poudre de charbon
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'AMMONIUM-POUDRE DE MAGNÉSIUM

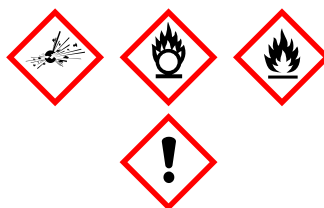


Image 147. Nitrate d'ammonium-poudre de magnésium
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'AMMONIUM-SCIURE

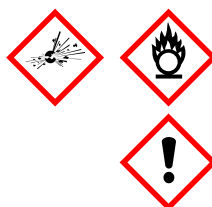


Image 148. Nitrate d'ammonium-sciure
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'AMMONIUM-TNT [AMATOL]

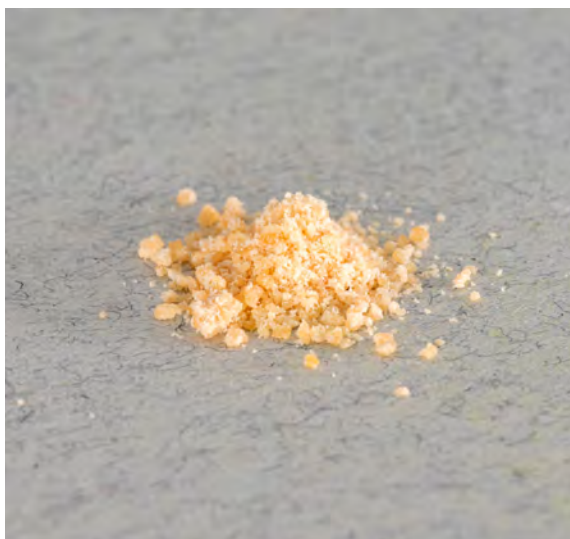


Image 149. Nitrate d'ammonium-TNT

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'AMMONIUM-URÉE

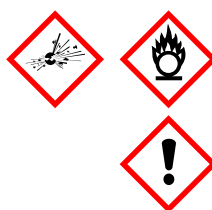


Image 150. Nitrate d'ammonium-urée

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

5.2.2. ARTISANAUX À BASE DE NITRATE D'AMMONIUM ET DE CALCIUM (CAN)⁵⁴

NITRATE D'AMMONIUM ET DE CALCIUM



Image 151. Nitrate d'ammonium et de calcium transformé en granules (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 152. Nitrate d'ammonium et de calcium, apparence possible (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate d'ammonium et de calcium (CaCO_3 et NH_4NO_3) est du nitrate d'ammonium mélangé à du calcaire ou de la dolomite. Il est utilisé comme engrais, constitué de granules gris-brun d'aspect sale.

Parfois, les fabricants sépareront le nitrate d'ammonium et de calcium. Selon certains paramètres, cet engrais peut être utilisé comme oxydant pour les explosifs artisanaux sans aucun traitement supplémentaire.

Les combustibles possibles sont ceux utilisés avec les explosifs artisanaux improvisés à base de nitrate d'ammonium, comme ceux énumérés à la sous-section 5.2.1 – les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium. En raison de l'additif de calcium, ces explosifs artisanaux sont moins sensibles que les explosifs artisanaux à base de nitrate d'ammonium comparables et requièrent un confinement, un booster et un diamètre critique plus important.

⁵⁴ La classification SGH représente les risques après la réduction/l'extraction du calcium.

5.2.3. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE NITRATE DE MÉTHYLE

NITRATE DE MÉTHYLE



Image 153. Nitrate de méthyle

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate de méthyle (CH_3NO_3) est un liquide incolore très volatil, dont les vapeurs sont inflammables et explosent en cas de surchauffe. Associé à des absorbants, le nitrate de méthyle a été rencontré comme dynamite humide improvisée.

Le nitrate de méthyle se dissout dans l'alcool et l'éther, mais pas dans l'eau. Le nitrate de méthyle gélatinise facilement la nitrocellulose et s'évapore très rapidement du gel.

Ce liquide explosif réagit sous l'effet d'un choc ou d'un frottement, de la chaleur ou d'autres sources d'ignition, avec décomposition rapide pour former de grandes quantités de gaz. Sa sensibilité aux chocs est de 0,2 J, et sa sensibilité aux frottements est approximativement de 353 N. La brisance du nitrate de méthyle est à peu près égale à celle de la nitroglycérine. Le nitrate de méthyle non confiné au contact de flammes en plein air peut conduire à sa combustion accompagnée d'une déflagration des vapeurs. Le nitrate de méthyle confiné au-dessus d'un certain diamètre critique peut provoquer une explosion, avec une vitesse de détonation pouvant atteindre 6 300 m/s. En général, le nitrate de méthyle est sensible à l'amorce.

On rencontre plus fréquemment cet explosif liquide sous son état de « dynamite », obtenue en mouillant un absorbant, comme la sciure fine ou le charbon.



AVERTISSEMENT. Il ne faut pas toucher les explosifs liquides compte tenu de leur toxicité et de leurs graves effets sur la peau. En cas de contact avec la peau, la zone doit être rincée immédiatement à grande eau. Il faut éviter toute contamination des explosifs liquides par d'autres substances chimiques afin de prévenir toute réaction imprévue.

5.2.4. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE NITRATE D'URÉE

NITRATE D'URÉE



Image 154. Nitrate d'urée

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le nitrate d'urée pur ($\text{CH}_5\text{N}_3\text{O}_4$ // $\text{NH}_2\text{CONH}_2 \cdot \text{HNO}_3$) est une poudre cristalline blanche, inflammable et inodore. Mélangé à la potasse caustique et à d'autres liquides, il peut dégager une forte odeur d'ammoniac ou d'urine. Compte tenu de l'acide nitrique liée, il vire au jaune-brun au soleil. Le nitrate d'urée a un effet extrêmement caustique (il corrode la plupart des métaux) et est thermiquement instable. Une décomposition thermique explosive est possible s'il est chauffé au-delà de sa température de décomposition (152°C).

Le nitrate d'urée est très insensible aux chocs et aux décharges électrostatiques; sa sensibilité aux chocs est de 50 J et sa sensibilité aux frottements de 353 N. Il est hygroscopique et se dissoudra dans l'eau chaude (190 g/l à 20°C) et l'éthanol. La conservation du nitrate d'urée est limitée du fait de l'agglutination. Le nitrate d'urée produit avec un taux de cristallisation élevé est plus stable en plein soleil et moins hygroscopique que les versions en poudre. La substance peut réagir dangereusement sans agents réducteurs, magnésium en poudre ou autres métaux pulvérulents.

Le nitrate d'urée est utilisé en tant qu'oxydant. Avec une teneur en eau inférieure à 20%, il peut à lui seul agir comme matière explosive. Toutefois, il n'y a aujourd'hui aucune utilisation commerciale ou militaire du nitrate d'urée en tant qu'explosif, compte tenu de sa faible capacité de vieillissement. Le nitrate d'urée pur n'est pas sensible à l'amorce. Comme la plupart des mélanges d'explosifs artisanaux qui en contiennent, il agit comme un explosif tertiaire et nécessite un booster pour que se produise une détonation.

Les combustibles potentiels utilisés correspondent à ceux déjà énumérés dans cette section. La couleur, l'apparence et l'odeur des explosifs artisanaux à base de nitrate d'urée varieront en fonction du processus de production, du combustible utilisé, du vieillissement, de l'impact environnemental (ensoleillement) et des impuretés. Tous ces facteurs ont également une incidence sur la stabilité et la sensibilité.

AUTRES MÉLANGES NITRATE D'URÉE-COMBUSTIBLE RENCONTRÉS :

NITRATE D'URÉE-ALUMINIUM

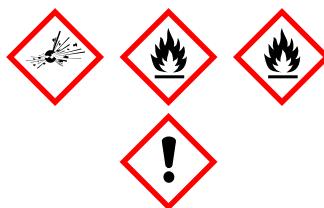


Image 155. Nitrate d'urée-aluminium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-CHARBON

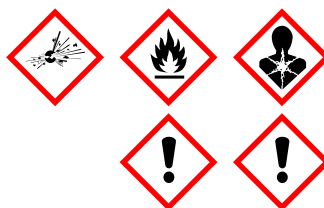


Image 156. Nitrate d'urée-charbon

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-FIOUL

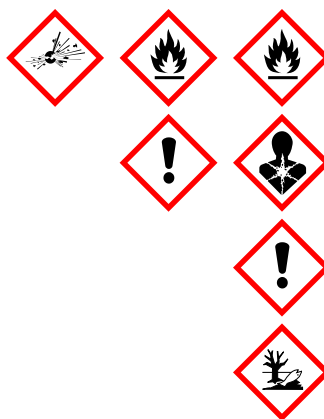


Image 157. Nitrate d'urée-fioul

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-MAGNÉSIUM

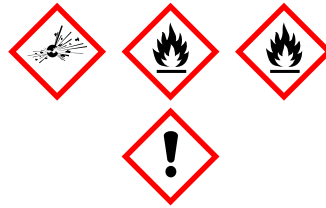


Image 158. Nitrate d'urée-magnésium
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-NITROBENZÈNE

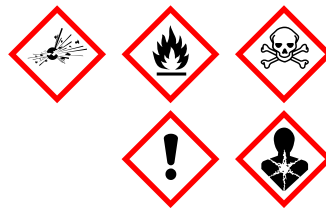


Image 159. Nitrate d'urée-nitrobenzène
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-NITROMÉTHANE

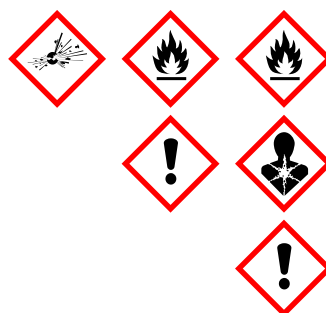


Image 160. Nitrate d'urée-nitrométhane
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-SCIURE



Image 161. Nitrate d'urée-sciure

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-SUCRE



Image 162. Nitrate d'urée-sucre

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-TNT

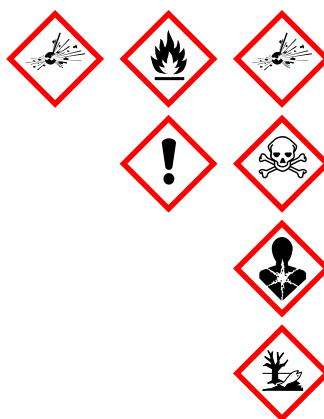


Image 163. Nitrate d'urée-TNT

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

NITRATE D'URÉE-URÉE

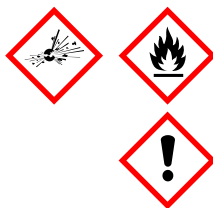


Image 164. Nitrate d'urée-urée

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

5.3. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE PÉROXYDES

Le terme peroxyde désigne une molécule qui consiste en une liaison simple entre deux atomes d'oxygène. La liaison simple O-O du peroxyde est particulièrement faible, une caractéristique qui entraîne l'instabilité thermique des explosifs à base de peroxyde (décomposition entre 60°C et 150°C). Si ces liaisons peuvent être faibles, les peroxydes organiques ne sont pas tous utilisés comme explosifs.

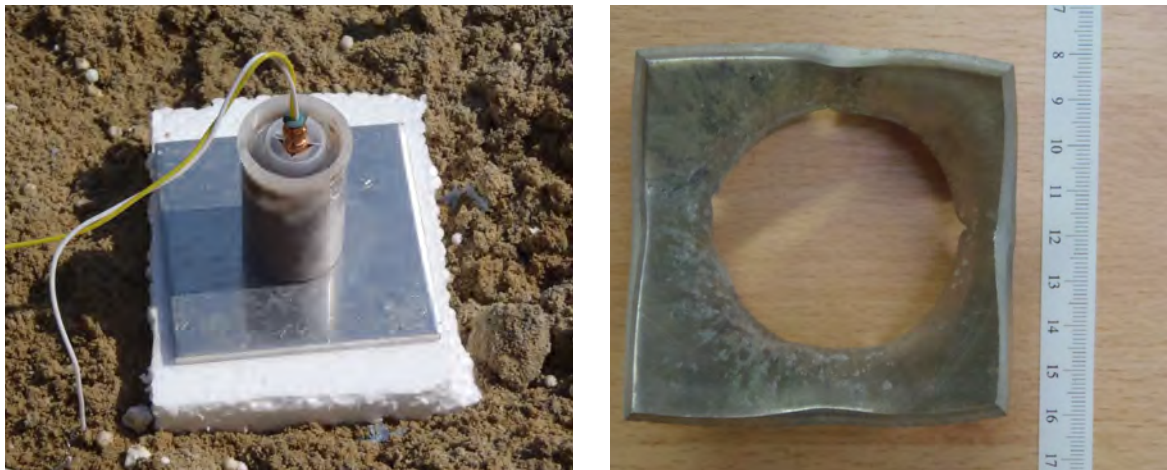
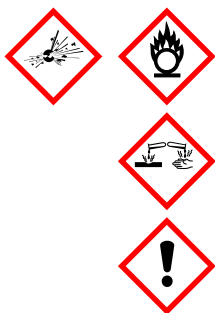


Image 165. Effets d'une petite quantité d'explosif artisanal à base de peroxyde sur une plaque témoin en métal (source : BCL ©)

Les peroxydes sont considérés comme de puissants oxydants à forte brisance et induisent un risque d'incendie extrême lorsqu'ils sont mélangés à des matériaux inflammables.

5.3.1. PEROXYDE D'HYDROGÈNE CONCENTRÉ



Le peroxyde d'hydrogène standard est une solution aqueuse; il se décompose spontanément lorsqu'il est mélangé à l'eau. Les concentrations supérieures à 86% sont difficiles à maintenir et se décomposeront. Le peroxyde d'hydrogène liquide pur n'est pas considéré comme un explosif brisant, puisqu'il nécessite un apport énergétique relativement élevé pour pouvoir détoner. Pour former un explosif artisanal viable, le peroxyde d'hydrogène concentré peut être mélangé à un combustible et il est donc communément appelé explosif artisanal à base de PHC.

L'efficacité des explosifs artisanaux à base de peroxyde d'hydrogène dépend de la concentration du peroxyde d'hydrogène et du rapport combustible/oxydant. Ainsi, l'usage du peroxyde d'hydrogène tant à des fins privées que commerciales fait l'objet d'une réglementation stricte.

Les combustibles couramment rencontrés sont les épices moulues (par exemple le cumin, le poivre noir, le chili), la farine, le café, le sucre, l'alcool, le glycérol et la fine poudre d'aluminium.



Image 166. Peroxyde d'hydrogène-farine

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les explosifs artisanaux à base de peroxyde d'hydrogène peuvent avoir une apparence liquide, semi-liquide ou pulpeuse en fonction des matières sources. Leur couleur et leur odeur varient en fonction des combustibles utilisés. D'une façon générale, l'odeur des explosifs artisanaux à base de peroxyde d'hydrogène peut être décrite comme légèrement forte.



Image 167. Peroxyde d'hydrogène-poivre

(source: Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les explosifs artisanaux à base de peroxyde d'hydrogène sont généralement mélangés juste avant leur utilisation ; le stockage n'est pas courant. Tous ces explosifs artisanaux ont une faible stabilité chimique et sont sensibles à la chaleur, aux frottements, aux chocs et aux décharges électrostatiques. À mesure que la concentration de peroxyde d'hydrogène augmente, sa sensibilité augmente également. De grandes quantités d'explosifs artisanaux à base de peroxyde d'hydrogène peuvent s'enflammer compte tenu des réactions autocatalytiques (ou autochauffantes) internes.

EXEMPLE : DISTINCTION ENTRE PEROXYDE ORGANIQUE ET MATIÈRE EXPLOSIVE CONTENANT DU PEROXYDE D'HYDROGÈNE

Il convient de faire la distinction entre les peroxydes organiques et les mélanges explosifs contenant du peroxyde d'hydrogène. Les peroxydes d'hydrogène concentré ne sont pas des peroxydes organiques (il n'y a pas de liaisons covalentes entre l'unité de peroxyde et les fractions organiques, alors que les peroxydes organiques contiennent des fractions organiques dans leur structure moléculaire) et les PHC s'apparentent plus à l'ANFO en termes de performances explosives. Toutefois, les peroxydes d'hydrogène concentré peuvent être déclenchés sans booster. Les explosifs à base de peroxydes organiques les plus fréquemment rencontrés comprennent le TATP, le HMTD et le MEKP.

5.3.2. PEROXYDE D'ACÉTONE

Le peroxyde d'acétone ($C_9H_{18}O_6$) ou triperoxyde de tricycloacétone (TATP), également appelé Mère de Satan.



Image 168. Peroxyde d'acétone

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le TATP est un composé chimique, pas un mélange. Il possède les propriétés d'un explosif primaire avec un puissant effet détonant. Le TATP n'a aucune application commerciale ou militaire compte tenu de son instabilité.

Le TATP est un solide cristallin ou en poudre blanc-incolore semblable au sucre. Il ne se dissout pas dans l'eau mais est soluble dans les solvants organiques. Le TATP qui a séché après dissolution dans des solvants organiques est extrêmement dangereux à manipuler.

Le TATP frais dégage une odeur douce d'acétone; en vieillissant, il dégage une forte odeur de vinaigre. Les additifs et les impuretés influent sur son apparence physique et son odeur.

La sensibilité et la stabilité (physique et thermique) du TATP dépendent fortement des matières premières utilisées; le professionnalisme du processus de fabrication et la teneur en humidité d'un explosif artisanal jouent également un rôle. Une instabilité chimique due à des impuretés graveleuses ou aux acides utilisés est à prévoir dans le processus de production improvisée. Dans la mesure où ils ne peuvent être identifiés visiblement, les explosifs artisanaux concernés doivent être considérés comme extrêmement instables.

Il est probable que le personnel de l'action contre les mines rencontre du TATP récemment produit. Par conséquent, il faut tenir compte des effets du vieillissement. Par défaut, le TATP doit être considéré comme extrêmement sensible aux chocs, aux frottements, aux décharges électrostatiques et à la chaleur, comme tous les autres explosifs primaires. Le vieillissement augmentera considérablement sa sensibilité aux frottements, si bien que même l'électricité statique du corps ou un gant en latex pourrait provoquer une explosion. D'après des essais de laboratoire, on estime que le TATP pur et frais a une sensibilité au choc de 0,3 J et une sensibilité au frottement de 0,1 N.



INDICE. Il est recommandé de se protéger contre les décharges électrostatiques en étant relié à la terre afin d'accroître la sécurité lorsqu'on rencontre un explosif primaire improvisé.



NOTE. Il existe différents mélanges possibles de TATP-combustible, comme avec la graisse, la poudre noire ou la colle. Cela modifie l'apparence et la couleur de l'explosif artisanal.

Le TATP est extrêmement sensible à l'amorçage sous l'effet d'une flamme:⁵⁵

- De petites quantités de TATP pulvérulent en couches minces auront tendance à déflagrer.
- Le TATP cristallisé confiné en couches épaisses aura tendance à exploser.

Le TATP présente des dangers spécifiques. Il est volatil, peut être thermiquement instable, se vaporise spontanément et a tendance à se recristalliser de façon spontanée. Les cristaux (de grande taille) sont plus dangereux à manipuler que le TATP pulvérulent. Ces cristaux peuvent se former à mesure que le TATP vieillit ou en raison d'une synthèse inappropriée, et peuvent se décomposer une fois brisés.



AVERTISSEMENT. Il ne faut jamais ouvrir les récipients contenant du TATP pour éviter une détonation. Celle-ci peut être provoquée par le bris des cristaux de TATP ou le frottement des cristaux coincés au niveau du filetage du couvercle du récipient.

⁵⁵ Le HMTD réagira de la même manière.

5.3.3. HEXAMÉTHYLÈNE TRIPEROXIDE DIAMINE



Image 169. HMTD

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'hexaméthylène triperoxyde diamine ($C_6H_{12}N_2O_6$) or HMTD, ou HMTD, est un composé chimique, pas un mélange. Il possède les propriétés d'un puissant explosif primaire avec un puissant effet de mise à feu. Il n'a aucune application commerciale ou militaire, compte tenu de sa sensibilité.

Le HMTD est une fine poudre blanche incolore et inodore. Il ne forme pas de gros cristaux. En raison des amines, le HMTD vieilli dégage une odeur de poisson. Il est légèrement hygroscopique mais ne se dissout pas dans l'eau ou dans les solvants organiques courants. Il ne s'évapore pas ni ne se recristallise.

Le HMTD est extrêmement sensible à la chaleur, aux chocs et particulièrement aux frottements. Il est thermiquement instable, se décompose durant l'entreposage et réagit à la plupart des métaux, même sec. La sensibilité du HMTD aux chocs est de 0,6 J. Sa sensibilité aux frottements est d'approximativement 0,1 N et est considéré comme similaire à celle du mélange d'Armstrong.⁵⁶ Confiné, il explosera en petites quantités. Le HMTD vieilli perd sa force explosive mais sa sensibilité aux décharges électrostatiques augmente.

5.3.4. PEROXYDE DE MÉTHYLÉTHYLACÉTONE



Image 170. MEKP

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

⁵⁶ Le mélange d'Armstrong est constitué de chlorate de potassium et de phosphore rouge.

Le peroxyde de méthyléthylcétone ($C_8H_{18}O_6$) ou MEKP, est un composé chimique liquide, pas un mélange. Il est produit en utilisant du butanone/MEK, du peroxyde d'hydrogène et un catalyseur. Le MEKP est utilisé comme durcisseur pour différentes résines. Disponible dans le commerce, le MEKP dilué est sensibilisé avec les flegmatisants. Fortement concentré, il possède les propriétés d'un explosif primaire puissant avec un puissant effet de mise à feu et sa réaction peut être comparée à celle du TATP. Le confinement peut le faire exploser.

Le MEKP est un liquide huileux, clair et incolore qui dégage une odeur agréable. Il est inflammable et ne se dissout pas dans l'eau. Il commence à se décomposer sous l'effet de la chaleur entre 50°C et 60°C. Il est moins sensible que le TATP à la chaleur, aux chocs et aux frottements, et peut être stocké. Très concentré, le MEKP est considéré comme très réactif. Il peut exploser au contact de substances organiques, de certaines amines et de certains composés de soufre. Il peut réagir dangereusement au contact de bases fortes, de puissants agents réducteurs et d'acides concentrés.

Le MEKP peut avoir un effet corrosif sur les muqueuses et la peau, et provoquer de graves lésions oculaires (risque de cécité). En cas d'ingestion, il présente un risque de graves affections de l'appareil digestif.

Les récipients adaptés au stockage du MEKP pur sont le verre (verre sombre pour une protection contre la lumière), la céramique, le PVC, l'acier V2A⁵⁷ et le caoutchouc. Il convient de contrôler la résistance des matières plastiques avant utilisation; les récipients qui ne conviennent pas sont fabriqués à partir de métal, comme l'aluminium et ses alliages, le laiton, le bronze, le cuivre et ses alliages, et l'acier.

Les agents d'extinction appropriés sont l'eau (jet pulvérisé), la poudre sèche, la mousse résistant aux alcools et le sable.

Le MEKP présente peu de risques pour l'environnement aquatique.



AVERTISSEMENT. Il ne faut pas toucher les explosifs liquides. Ils ne doivent pas être en contact avec la peau. Dans le cas où cela se produit, la zone doit être immédiatement rincée à grande eau. En outre, il faut éviter toute contamination de liquides explosifs par d'autres substances chimiques.



AVERTISSEMENT. La distinction entre différents explosifs à base de peroxyde organique est difficile à déterminer à l'œil nu, compte tenu de l'apparence similaire des solides cristallins. Toute poudre non identifiée en présence de peroxyde d'hydrogène doit être traitée comme du HMTD en termes d'extrême sensibilité. Les procédures de sécurisation existantes telles que la disruption cinétique présentent un risque excessif de détonation.

⁵⁷ L'acier V2A est un acier inoxydable allié avec du chrome et du nickel

5.4. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE DE NITROMÉTHANE



Image 171. Nitrométhane (source: BCL ©)

Le nitrométhane (CH_3NO_2) est le composé nitré organique le plus simple. Il s'agit d'un liquide polaire incolore, huileux et extrêmement inflammable, couramment utilisé comme solvant dans diverses applications industrielles telles que le nettoyage à sec, la fabrication de produits pharmaceutiques, de pesticides, d'explosifs, de fibres et de revêtements. Le nitrométhane est également utilisé comme additif de combustible dans divers sports mécaniques et loisirs comme les courses de dragsters, et dans les moteurs miniatures à combustion interne pour modèles réduits d'avions. Les explosifs artisanaux à base de nitrométhane sont généralement moins utilisés que d'autres mélanges mais ont été longtemps utilisés par le groupe séparatiste basque Euskadi Ta Askatasuna (ETA). Le personnel de l'action contre les mines doit savoir en général que les groupes armés non étatiques disposant des ressources nécessaires pour déployer des véhicules sans pilote dotés de moteurs thermiques ont les moyens de fabriquer ce type d'explosif artisanal.

Le nitrométhane n'est pas normalement considéré comme un explosif. Toutefois, compte tenu de son bilan oxygène, sous certaines conditions et avec un puissant initiateur, ce composé peut propager une détonation. Le nitrométhane n'était pas considéré comme un explosif brisant jusqu'à ce qu'un wagon-citerne qui en était rempli explose en 1958⁵⁸, faisant deux morts et causant des dommages estimés à 1 millions USD. Après de nombreux tests, on a compris que le nitrométhane était un explosif brisant plus énergétique que le TNT, bien que ce dernier ait une brisance supérieure. Étant donné que le nitrométhane a une faible teneur en oxygène, certains avantages ont été obtenus en le mélangeant à un oxydant dans des applications liées aux explosifs artisanaux. Les mélanges typiques comprennent l'ANNM et l'ANMAL (des mélanges explosifs à base de nitrate d'ammonium, de nitrométhane et de poudre d'aluminium). Bien que les performances explosives de ces mélanges soient supérieures à celles du mélange nitrate d'ammonium-fioul, leur production est beaucoup plus coûteuse.

Le nitrométhane utilisé comme combustible pour les mélanges d'explosifs artisanaux peut être utilisé en faible concentration et ne nécessite aucune sensibilisation supplémentaire. En général, il est mélangé avec des oxydants solides.



NOTE. En raison de sa tendance à se décomposer thermiquement de façon violente, le nitrométhane et ses mélanges avec des substances inflammables ne doivent pas être chauffés ou enflammés dans un espace clos.

⁵⁸ Interstate Commerce Commission. "Accident Near Mt. Pulaski, ILL" (PDF). *Ex Parte No 213*.

Le nitrométhane utilisé comme oxydant nécessite une concentration proche de 100%. Les combustibles tels que les amines, l'ammoniac aqueux, le carbonate de sodium ou de puissants acides augmenteront la sensibilité d'un mélange. En général, ces mélanges ne sont pas sensibles à l'amorce.

Utilisé en tant qu'explosif, le nitrométhane confiné a atteint une vitesse de détonation maximale de 6 400 m/s lors d'essais en laboratoire.

La sensibilisation chimique de façon à conférer une sensibilité à l'amorce peut être obtenue en ajoutant diverses sortes d'amines/de dérivés d'ammoniac.

On parvient à la sensibilisation physique en enfermant l'oxygène gazeux dans du nitrométhane hautement concentré. L'oxygène est introduit lorsque les substances ayant la capacité physique de garder des poches d'air au sein de leur structure sont imbibées de nitrométhane. Ces substances peuvent être, par exemple, la fine poudre d'aluminium, le café finement moulu, la sciure ou le papier toilette. Cette méthode ne retient pas longtemps l'oxygène. Néanmoins, le nitrométhane pur ou les explosifs artisanaux à base de nitrométhane détonera lorsqu'il sera mis à feu par des stimuli externes suffisants. En fonction du rapport oxydant/combustible, du niveau de confinement et des explosifs à charge d'amorçage utilisés, le poids requis d'une charge d'amorçage peut être faible (inférieur à 10 grammes).

Les explosifs disponibles dans le commerce contenant du nitrométhane sont le KINEPAK® (qui utilise du nitrate d'ammonium) et l'explosif liquide hautement énergétique HELIX™, un explosif binaire contenant de la fine poudre d'aluminium.

L'exposition au nitrométhane irrite la peau et provoque des troubles du système nerveux central à l'origine de nausées, de vertiges et de narcose. Il y a des raisons de soupçonner que cette substance a un potentiel cancérigène.

PLX (ABRÉVIATION DE PICATINNY LIQUID EXPLOSIVE) OU MYROL



Image 172. PLX

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le PLX est une composition hautement explosive de nitrométhane et d'éthylènediamine, avec une vitesse de détonation supérieure à 6 000 m/s. Il s'agit d'un liquide légèrement jaunâtre qui nécessite un détonateur puissant ou une charge d'amorçage. Il n'est pas considéré comme étant sensible aux frottements mais a une sensibilité aux chocs supérieure à 2 J. Le PLX a une faible stabilité chimique, ses composants sont à la fois très volatils et très corrosifs. Le PLX a un effet corrosif sur le laiton mais pas sur l'acier inoxydable.

5.5. EXPLOSIFS ARTISANAUX À BASE D'ESTERS DE NITRATE

Les esters nitriques sont une classe importante d'explosifs pour applications commerciales et militaires ; ils sont formés à partir de la réaction de nitration O (O-NO₂) entre des alcools et l'acide nitrique. Les cinq esters nitriques les plus importants dans la fabrication d'explosifs artisanaux sont la nitroglycérine, le dinitrate d'éthylène glycol, le tétranitrate de pentaerythritol, le tétranitrate d'érythritol et la nitrocellulose. Les esters de nitrate sont extrêmement sensibles aux chocs et aux stimuli mécaniques.

NITROGLYCÉRINE [C₃H₅N₃O₉] OU NG



Image 173. Nitroglycérine improvisée découverte dans une usine de fabrication d'obus – décolorée par le vieillissement (source: BCL ©)

La nitroglycérine, ou trinitrate de glycéryle, est probablement l'ester de nitrate le plus connu et le plus sensible. Elle est fabriquée à grande échelle par nitration de la glycérine et également utilisée comme vasodilatateur pour soulager l'angine de poitrine. À l'état pur, c'est un liquide huileux incolore et transparent qui dégage une odeur légèrement sucrée et a un goût aigre-doux. L'auto-catalysation pendant le stockage est courante (au lieu d'un liquide huileux incolore, elle peut avoir une couleur jaune paille ou marron clair). Ce n'est pas un problème dans les mélanges d'explosifs artisanaux non confinés mais, en confinement, la réaction peut provoquer une détonation.

En tant qu'explosif liquide (point de congélation 13°C), la nitroglycérine possède une forte brisance et démontre sa capacité à fournir une source d'énergie élevée dans des propulseurs de roquettes à simple et double base. À une densité de 1,59 g/cm³, sa vitesse de détonation est de 7 750 m/s. C'est l'un des très rares explosifs avec un bilan oxygène positif, d'où son utilisation avec des explosifs pauvres en oxygène comme la nitrocellulose. Compte tenu de sa forme liquide huileuse, la présence de bulles d'air peut créer des points sensibles entraînant une forte sensibilité et une mise à feu accidentelle durant la fabrication et la manipulation. La nitroglycérine peut être désensibilisée en se mélangeant avec des absorbants tels que la pâte à papier, la farine, l'amidon, la craie, l'oxyde de zinc ou le charbon, puis associée au charbon pour former de la dynamite. Mélangée au nitrate de cellulose et au sodium, à une gélatine de nitrate de potassium ou d'ammonium, il est également possible de produire de la dynamite.

La nitroglycérine est toxique pendant la manipulation et, en tant que vasodilatateur, peut causer des maux de tête au cours de la manipulation et après la détonation (en raison des fumées de NO₂ générées). Elle est pratiquement insoluble dans l'eau mais soluble dans la plupart des solvants organiques.



Image 174. Dynamite improvisée à base de nitroglycérine, de nitrate de potassium et de charbon
(source: BCL ©)

La dynamite à base de nitroglycérine a été largement remplacée par des mélanges à base de nitrate d'ammonium, qui sont beaucoup plus sûrs à utiliser et aussi moins onéreux.

DINITRATE D'ÉTHYLÈNE GLYCOL [C₂H₄N₂O₆] OU NITROGLYCOL, EGDN

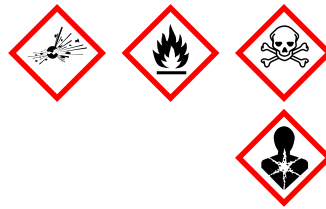
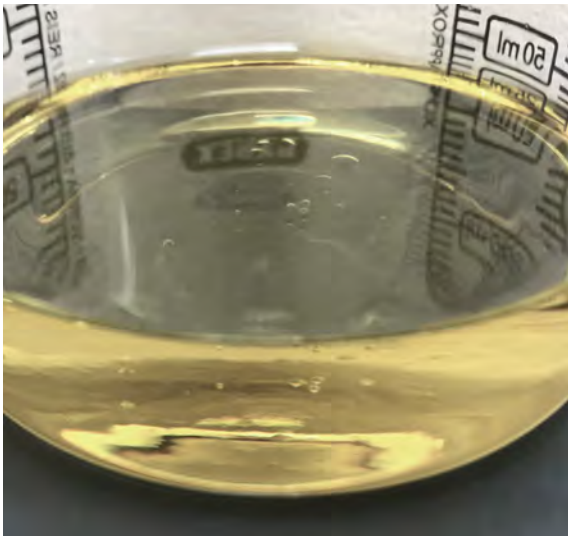


Image 175. EGDN (source: BCL ©)

L'EGDN, ou nitroglycol, est une huile jaune pâle-incolore visqueuse non hygroscopique dont les propriétés et les performances sont semblables à celles de la nitroglycérine. À une densité de 1,49 g/cm³, sa vitesse de détonation est de 8 000 m/s. L'EGDN a un bilan oxygène d'exactly 0,00 et est considéré plus stable contre les chocs que la nitroglycérine, bien que plus volatile. L'EGDN était utilisé dans la fabrication d'explosifs pour diminuer le point de congélation de la nitroglycérine, dans le but de fabriquer un type de dynamite utilisable par temps froid (jusqu'à -22,7° C, au lieu de 13,2° C).

Compte tenu de sa pression de vapeur élevée, qui ne favorise pas une utilisation dans des applications de propulseur, il a été utilisé comme plastifiant hautement énergétique et comme marqueur dans des explosifs plastiques pour permettre une détection plus fiable. Il est produit à partir de la nitration de l'éthylène glycol et, comme tous les esters de nitrate, c'est un vasodilatateur qui affecte fortement la circulation sanguine. L'EGDN est pratiquement insoluble dans l'eau mais soluble dans la plupart des solvants organiques.

TÉTRANITRATE DE PENTAÉRYTHRITOL [C₅H₈N₄O₁₂] OU NITROPENTA, PETN



Image 176. PETN (source: BCL ©)

Le PETN est le plus stable et le moins réactif des esters de nitrate explosifs. C'est un explosif extrêmement puissant et brisant. À une densité de 1,77 g/cm³, sa vitesse de détonation est de 8 310 m/s. Il s'agit d'un solide cristallin blanc ivoire fin produit par la réaction du pentaérythritol (un alcool utilisé dans les peintures et les vernis) avec de l'acide nitrique. Compte tenu de sa vitesse de détonation élevée, le PETN est un explosif secondaire facilement déclenchable utilisé dans les détonateurs, les cordons détonants et les boosters. Mélangé à un plastifiant approprié, le PETN se désensibilise (flegmatisé) et peut être façonné pour obtenir n'importe quelle forme, ce qui le rend extrêmement attrayant dans les petits engins explosifs improvisés. Contrairement à de nombreux explosifs, le PETN montre peu de traces de décomposition lorsqu'il est stocké durant de longues périodes et à des températures élevées, ce qui en fait un bon choix pour des applications militaires (performance, fiabilité, sécurité). Toutefois, lorsqu'il est chauffé au-delà de son point de fusion d'approximativement 140°C, il explose violemment (la décomposition commence à une température supérieure à 150°C, risque d'explosion > 205°C). Il n'est pas soluble dans l'eau, pratiquement pas soluble dans l'alcool, l'éther et le benzène, mais il est soluble dans l'acétone et le méthylacétate (un solvant).

Les effets toxiques du PETN sont similaires à ceux de la nitroglycérine, mais moins prononcés.

TÉTRANITRATE D'ÉRYTHRITOL [C₄H₆N₄O₁₂] OU ETN



L'ETN est une autre poudre cristalline blanche, très similaire au PETN en apparence et en performance. Il est produit à partir de la nitration de l'érythritol. À l'état pur, il est extrêmement sensible aux chocs et aux frottements. En général, l'ETN est plus sensible aux frottements que le PETN, a un bilan oxygène positif et est plus simple à fabriquer, dans la mesure où l'érythritol est largement disponible en tant qu'agent édulcorant. Par conséquent, son utilisation dans des détonateurs improvisés augmente considérablement sa fiabilité. Son point de fusion bas de 61,5°C laisse à penser qu'il pourrait être moins approprié pour un stockage à long terme. L'ETN a largement remplacé la NG dans les applications médicales, étant donné que ses effets physiologiques sont identiques mais durent plus longtemps.

NITROCELLULOSE [C₆H₉(NO₂)₃O₅] OU PAPIER FLASH, FULMICOTON, FIL FLASH, FULMICOTON, COLLODIÓN



Image 177. Nitrocellulose improvisée (source: BCL ©)

La nitrocellulose est produite par la réaction de la cellulose (obtenue à partir du coton, du bois, du papier) avec un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Le produit forme généralement des granulés, des paillettes ou de la poudre pulpeux, fibreux, blancs et solides, qui exige un nettoyage intense pour éliminer l'excès d'acide. Il existe différents types de nitrocellulose, classés en fonction de la teneur en azote. La teneur en azote dans la nitrocellulose pour les applications explosives varie généralement (couramment) entre 10% et 13,4%.

La nitrocellulose est très inflammable (s'enflamme à environ 180°C) et peut brûler même lorsqu'elle est mouillée. Elle est sensible à une mise à feu par percussion ou provoquée par une décharge électrostatique. La nitrocellulose est soluble dans l'acétone. Utilisée comme propulseur pour les projectiles, le fulmicoton simple (avec une teneur en azote supérieure à 13%) génère six fois plus de gaz qu'un volume équivalent de poudre noire et produit moins de fumée et de chaleur.

Bien que la nitrocellulose s'avère être une matière explosive propulsive bien meilleure que la poudre noire, elle est susceptible de se dégrader pendant le stockage. La stabilité thermique diminue avec l'augmentation de la teneur en nitrate et la stabilité pendant le stockage dépend du processus de fabrication. La fabrication improvisée ne peut atteindre les normes de fabrication industrielle, et l'excédent d'acide catalyse la décomposition des liaisons d'esters de nitrate pendant le stockage. Si la température dépasse 200°C, une mise à feu spontanée peut se produire.

NITROSTARCH [(C₆H₇O₂(ONO₂)₃)N] OU XYLOÏDINE



Image 178. Nitrostarch (source: BCL ©)

Découvert en 1833 par Henri Braconnot, le nitrostarch est produit par la nitration de fécule de maïs avec des mélanges d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrés, suivie d'un lavage et d'un séchage. Similaire à la nitrocellulose, sa teneur en azote varie; il a beaucoup été utilisé pendant la Première Guerre mondiale comme charge principale d'explosif pour certains types de grenades à main.

Le nitrostarch est une poudre de couleur jaune pâle à orange qui ressemble à la nitrocellulose sous plusieurs aspects, autres que sa faible stabilité, sa résistance et sa capacité hygrométrique relativement faibles. Contrairement aux autres esters nitriques, c'est un explosif particulièrement simple. Le nitrostarch peut exploser s'il n'est pas mélangé à d'autres substances. Une fois comprimé, il peut atteindre une densité d'un peu plus de 0,9 g/cm³.

6. RÉACTIONS GAZOGÈNES

Les réactions gazogènes sont des processus chimiques qui produisent une grande quantité de gaz. À des fins commerciales, un espace confiné est créé par un contenant résistant ou sensible à la pression. Dans le contenant, la pression est créée par un composé gazogène déflagrant susceptible de subir une décomposition spontanée sans détonation. Par mesure de sécurité, le début de la réaction est contrôlé au moyen d'un allumage déflagrant. Les airbags sont l'exemple classique d'un tel mécanisme.

Le contact de deux substances chimiques spécifiques ou plus peut générer une réaction gazogène, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser un déclencheur ou un élément de mise à feu. La formation d'un gaz en espace confiné augmente la pression à un niveau auquel l'enveloppe/le contenant explose. Les risques associés sont la chaleur, l'accélération des fragments du contenant, les fuites de gaz, liquides ou solides toxiques qui, par réaction avec l'oxygène ou des substances chimiques à proximité, peuvent provoquer de violentes réactions de suivi. Ces réactions se produisent rapidement et sont généralement inarrêtables dans des espaces confinés. En général, ces effets se produisent lorsque l'on mélange de l'alcali ou des acides à des métaux mais ne se limitent pas à cela. Les exemples ci-dessous se réfèrent aux précurseurs chimiques communément utilisés pour fabriquer des explosifs artisanaux.

ALCALI/SOUDE :

Mélange d'hydroxyde de sodium dissout et d'aluminium, qui produit :

- de l'hydrogène gazeux, un gaz extrêmement inflammable qui forme des mélanges explosifs au contact de l'air ; et
- de l'aluminate de sodium, une substance qui réagit au contact des métaux, qui est corrosive aux métaux et caustique pour la peau.

ACIDE :

Mélange d'acide chlorhydrique et d'aluminium, qui produit :

- de l'hydrogène gazeux ; et
- du chlorure d'aluminium, une substance poudreuse jaune dégageant une forte odeur caustique qui a des effets corrosifs sur les muqueuses et la peau et, en cas d'inhalation, provoque des dommages internes, notamment aux voies respiratoires supérieures.

Mélange d'acide nitrique et de zinc, qui produit :

- de l'eau ;
- du dioxyde d'azote gazeux,⁵⁹ qui lui-même ne brûle pas mais accroît le risque d'incendie au contact de substances inflammables et peut considérablement intensifier un feu existant ; provoquer des lésions pulmonaires et a un effet irritant sur les muqueuses ; et
- du nitrate de zinc, un solide blanc inodore qui réagit de manière similaire au dioxyde d'azote, provoquant des irritations localisées des muqueuses et de la peau, des brûlures chimiques aux yeux, une altération du goût et des dommages au tube digestif, notamment des troubles gastro-intestinaux.

⁵⁹ Le dioxyde d'azote peut enflammer les mélanges hydrogène/oxygène. Le dioxyde d'azote est plus lourd que l'air ; tout contact provoque des effets irritants et peut causer des lésions pulmonaires et un dysfonctionnement pulmonaire chronique.

AUTRES

Le carbure de calcium mélangé à l'eau forme de l'acétylène gazeux, un gaz extrêmement inflammable qui forme des mélanges explosifs au contact de l'air.

Les cendres de bois (carbonate de sodium et carbonate de potassium) dissoutes dans l'eau, le sel (chlorate de sodium) et l'aluminium forment de l'hydrogène gazeux, un gaz extrêmement inflammable qui forme des mélanges explosifs au contact de l'air et d'autres composés.



AVERTISSEMENT. Il ne faut pas déplacer les récipients qui contiennent un risque possible de réaction gazogène, cela pourrait très probablement relancer la réaction.

7. ENGIN INCENDIAIRE IMPROVISÉ

Cette section fournit des informations sur un certain nombre de combinaisons possibles, d'applications et de risques liés aux engins incendiaires improvisés et aux détonateurs chimiques improvisés. Elle vise à sensibiliser aux applications et dangers potentiels.



Image 179. Restes d'un incendiaire improvisé (à base de gel), qui s'est rallumé au contact de l'oxygène atmosphérique dans les cendres d'un local commercial (source : BCL ©)

7.1. ENGIN INCENDIAIRE IMPROVISÉ : NOTIONS DE BASE

La plupart des explosifs incendiaires improvisés sont des solides, des liquides ou des mélanges des deux. Ils peuvent être inflammables ou requièrent des stimuli chimiques pour déclencher une réaction.

Certaines substances chimiques utilisées dans les incendiaires artisanaux réagissent violemment et spontanément lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Cet effet peut se manifester accidentellement ou à dessein. Les réactions sont très difficiles à arrêter une fois en cours. Les applications militaires des explosifs incendiaires comprennent les allumeurs chimiques de type Buck, utilisés dans les mines antipersonnel et antivéhicule pendant la Seconde Guerre mondiale ou les propulseurs de roquette liquides. Il faut noter que certaines substances chimiques réagissant après avoir été mélangées n'ont pas besoin d'un apport d'oxygène supplémentaire pour brûler.

Le terme « réaction hypergolique » désigne l'effet de combustion spontanée entre des liquides mélangés comme les propulseurs hypergoliques pour les carburants de fusée. Dans les combustibles hypergoliques, un liquide sert de combustible, tandis que l'autre sert d'oxydant. La réaction débute immédiatement après le mélange. Les exemples d'oxydants sont le permanganate de potassium et différents composés chloratés liquides ; les exemples de combustibles sont le liquide de frein, la glycérine, l'éthylène glycol ou le propylène glycol.

Les substances peuvent même réagir violemment au contact de l'eau, une propriété qui peut être utilisée pour déclencher délibérément les réactions. L'allumage au contact de l'eau est utilisé avec le zinc, le nitrate d'ammonium ou les mélanges à bases de chlorure d'ammonium. Les gouttelettes d'eau, même d'une simple transpiration, peuvent déclencher la réaction de décomposition.

7.2. COMPOSITIONS INCENDIAIRES IMPROVISÉES

Les compositions incendiaires improvisées ont de multiples applications. L'utilisation d'essence mélangée ou épaissie avec de la mousse de polystyrène, du palmitate de sodium (savon solide) ou de l'huile, par exemple, est très courante. Les différents types d'explosifs artisanaux incendiaires sont décrits ci-après.



NOTE. En général, les incendiaires artisanaux nécessitent une source de chaleur externe pour brûler.



Image 180. Mousse de polystyrène (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

THERMITE

La thermitite est un mélange solide d'oxyde de fer (III) pulvérulent et d'aluminium qui, après allumage, génère des scories de fer et d'aluminium à l'état liquide en atteignant des températures très élevées, pouvant aller jusqu'à 2 400°C. Elle a été utilisée à des fins commerciales pour souder les rails de voies ferrées et ne nécessite pas d'oxygène externe pour réagir. La thermitite ne peut s'enflammer spontanément et les mélanges de thermitite produits dans le commerce sont très stables. La thermitite humide peut exploser après l'allumage, bien qu'elle puisse également ne pas s'enflammer du tout. Parfois, l'allumage d'un mélange sec est retardé alors que la quantité de chaleur pour déclencher la réaction est générée. Les impuretés contenant du cuivre, du magnésium, du soufre ou du permanganate de potassium peuvent accroître le risque d'explosion ou d'inflammation spontanée. Par conséquent, la thermitite improvisée peut être imprévisible sous l'action de la chaleur ou au contact d'une flamme.



Image 181. Thermitite

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

GELS COMBUSTIBLES INFLAMMABLES

Les gels combustibles inflammables ou les pâtes combustibles sont utilisés pour les engins incendiaires. Les gels combustibles inflammables adhèrent plus facilement à un objet et peuvent produire une plus forte concentration de chaleur que la combustion d'essence. L'exemple de gel combustible le plus connu est le napalm, mais plusieurs autres méthodes sont connues pour fabriquer des gels combustibles improvisés.

Le napalm est un mélange d'essence et de divers additifs, notamment des sels d'acide naphthénique et d'acide palmitique. La source d'oxygène du napalm est l'air; il nécessite un stimulus d'amorçage externe. Le napalm est difficile à éteindre avec de l'eau puisqu'il est hydrophobe. Après allumage, des températures de l'ordre de 2000°C peuvent être atteintes. L'effet adhésif du napalm est amélioré grâce à l'utilisation de produits en caoutchouc, de savon ou d'alcool éthylique.

Les gels combustibles inflammables sont une matière première aisément accessible généralement utilisée pour gélatiser ou plastifier l'essence ou tout autre hydrocarbure. Ils sont immiscibles et peu solubles dans l'eau. Ils tirent l'oxygène nécessaire de l'air. Les agents extincteurs les plus adaptés sont les extincteurs à poudre sèche, le gaz carbonique ou tout moyen d'étouffer le feu (par exemple du sable ou une couverture anti-feu). Ils continuent de brûler une fois qu'ils ont adhéré à un objet. En fonction des matières premières chimiques utilisées, tout contact avec un oxydant ou un acide peut enflammer les gels combustibles. Les mélanges connus, énumérés par ingrédient, sont les suivants :

- Les mélanges de latex – qui utilisent de l'essence, du latex commercial ou naturel et un acide ou un sel d'acide. Les mélanges de latex ont l'apparence d'une masse de gel gonflée.
- Les mélanges de soude – qui utilisent de l'essence et de la résine, ou de l'essence, du suif et de l'alcool pour produire un gel inflammable.
- Les mélanges soude-alcool – utilisant des alcools, qui sont garants de la qualité du gel.
- Les mélanges savon-alcool – qui utilisent du savon (pas des détergents) en association avec de l'alcool pour gélatiser l'essence.
- Les mélanges de cire – qui utilisent plusieurs cires courantes afin de gélatiser l'essence.



AVERTISSEMENT. La présence de flammes ouvertes à proximité des gels combustibles inflammables représente un grave danger.

TRIÉTHYLALUMINIUM [C₆H₁₅Al] OU TEA



Le triéthylaluminium est un liquide incolore-jaunâtre. Lorsqu'il est épaissi avec le polyisobutylène (agent liant) à des fins militaires, il est appelé agent pyrophorique épaissi (TPA). Le TEA/TPA peut s'enflammer spontanément, mais a besoin de l'oxygène pouvant être contenu dans l'air ou dans l'eau pour brûler. Le TEA/TPA proprement dit ne peut s'éteindre avec de l'eau, puisqu'il réagit de manière explosive à son contact. Si d'autres agents extincteurs sont utilisés, l'inflammation spontanée peut reprendre à tout moment au contact de l'air. Après allumage, on peut constater des températures très élevées pouvant atteindre 2000°C.

AUTRES MÉLANGES

Les mélanges contenant des métaux pulvérulents à base de perchlorate de potassium, du soufre ou du phosphore peuvent également être utilisés comme explosifs incendiaires. Ils ne nécessitent aucune source d'oxygène supplémentaire. Le chlorate de potassium proprement dit ne brûle pas mais réagit si violemment avec des substances inflammables qu'il peut les faire s'enflammer, parfois sans autre source d'ignition, et peut attiser un incendie existant. Ces mélanges requièrent des stimuli externes. Après allumage, des températures allant jusqu'à 2 500° C peuvent être atteintes.

7.3. ALLUMEURS CHIMIQUES IMPROVISÉS

Des mélanges chimiques capables de s'enflammer spontanément sont utilisés pour les dispositifs d'allumage et les mèches, ce qui signifie qu'ils sont indépendants des stimuli tels que l'électricité, la chaleur, etc.⁶⁰ Cela offre un net avantage du point de vue de l'utilisateur. Dotés d'un enrobage adéquat, ces allumeurs/mèches peuvent fonctionner longtemps sans aucune détérioration due au vieillissement. On peut également rencontrer des mélanges chimiques capables de s'enflammer spontanément comme élément d'amorçage dans une chaîne de mise à feu.

Afin d'optimiser la réaction, ces mélanges sont généralement contenus dans des systèmes fermés. La chaleur accumulée accélère le développement thermique et donc la réaction. Les applications improvisées séparent les substances dans des récipients ou des disques de séparation. En règle générale, cet obstacle entre les substances chimiques doit être détruit par action mécanique. Une méthode plus évoluée consiste à utiliser des acides pour désintégrer tout obstacle. Si aucun effet n'est observé après avoir déclenché accidentellement un élément de mise à feu, il ne faut pas supposer que cela a échoué, dans la mesure où il est impossible de déterminer de manière sûre le décalage de temps pour ce type d'engin. D'une manière générale, le décalage de temps est affecté par le vieillissement, l'épaisseur de l'obstacle et la concentration de l'agent dissolvant.



AVERTISSEMENT. Un retard intentionnel peut se produire entre l'activation d'un allumeur chimique et la mise à feu.



AVERTISSEMENT. En général, les mèches qui utilisent des allumeurs chimiques n'ont pas besoin d'être déclenchées par un initiateur. Elles sont exemptes de métal et donc difficiles à détecter.

EXEMPLE : MÈCHE DE MISE A FEU SPONTANÉE

L'association d'un mélange chlorate de potassium-sucre avec de l'acide sulfurique concentré est un exemple de mélange détonant utilisé pour provoquer une mise à feu spontanée en cas d'impact avec une cible.

Les récipients de matériaux fragiles sont remplis d'un fluide inflammable et d'acide sulfurique. Une bande de tissu (coton) imprégnée d'un mélange chlorate de potassium-sucre est fixée à l'extérieur du récipient. À l'impact, le récipient est réduit à néant. La réaction de l'acide sulfurique avec la bande imprégnée va enflammer le fluide inflammable.

Ce type d'engin a été rencontré en milieu urbain, stocké et prêt à l'emploi. Il faut éviter tout contact entre les éléments d'allumage.

De tels engins ne doivent pas être considérés comme sûrs à transporter.

⁶⁰ Le dioxyde d'azote peut enflammer les mélanges hydrogène/oxygène. Le dioxyde d'azote est plus lourd que l'air ; tout contact provoque des effets irritants et peut causer des lésions pulmonaires et un dysfonctionnement pulmonaire chronique.

8. PRODUITS PYROTECHNIQUES IMPROVISÉS

Cette section fournit des informations sur plusieurs combinaisons, applications et dangers possibles liés aux explosifs artisanaux pyrotechniques improvisés. L'objectif principal de cette section est de sensibiliser aux applications et dangers potentiels.

8.1. PRODUITS PYROTECHNIQUES IMPROVISÉS : NOTIONS DE BASE

Les produits pyrotechniques improvisés sont utilisés de manière analogue aux produits pyrotechniques industriels pour produire des lumières colorées, des effets de fumée ou sonores. En règle générale, les produits pyrotechniques contiennent différentes substances chimiques.

Dans la mesure où les produits pyrotechniques improvisés semblent ne pas avoir de propriétés explosives, les risques qu'ils présentent sont souvent sous-estimés. Les produits pyrotechniques peuvent même être jugés inoffensifs, puisque certains sont utilisés dans des jouets pour enfants. Il est toutefois important de savoir que les produits pyrotechniques sont des mélanges énergétiques dont le comportement et la stabilité figurent parmi les plus difficiles à évaluer, puisqu'ils peuvent être très sensibles et pourraient produire les mêmes effets que les explosifs brisants (en fonction du confinement, des composants de mélange, des impuretés et des effets du vieillissement).

Les mélanges pyrotechniques souffrent grandement du vieillissement, qui peut réduire leur stabilité et augmenter leur sensibilité. Les produits pyrotechniques improvisés sont souvent sensibles aux flammes. Ils se décomposent générant des températures élevées avec de fortes émissions de gaz ou de fumées. Certains mélanges peuvent avoir des propriétés explosives, notamment lorsqu'ils sont confinés.

Les matières premières utilisées dans la fabrication de produits pyrotechniques improvisés correspondent aux substances chimiques utilisées pour d'autres explosifs artisanaux.

Les **combustibles** utilisés dans les produits pyrotechniques improvisés comprennent :

- les métaux légers et leurs alliages, comme l'aluminium et le magnésium. On peut également trouver du fer, du zirconium et du titane ;
- une source de carbone – principalement le charbon ou la sciure ;
- les sucres comme le glucose, le saccharose, le lactose, le mannose ou le fructose ; et
- différentes résines, du soufre, de la rosine, de la gomme laque, de l'acide acétylsalicylique (par exemple l'aspirine), de l'acide ascorbique (vitamine C) et de l'acétaminophène (paracétamol).

Les **oxydants** utilisés dans les produits pyrotechniques improvisés comprennent :

- des nitrates (potassium, sodium, baryum ou nitrate de strontium) ;
- des chlorates (potassium, sodium, baryum ou chlorate de strontium) ;
- des perchlorates (potassium ou perchlorate de sodium) ; et
- des manganates comme le permanganate de potassium.

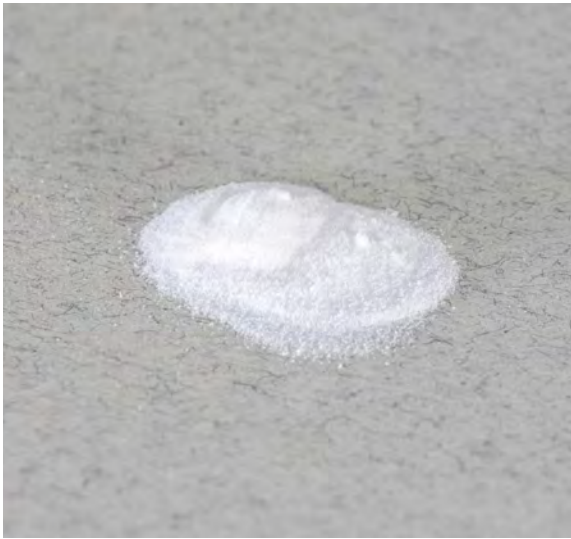


Image 182. Fructose

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 183. Glucose

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 184. Lactose

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 185. Acétaminophène sous forme de comprimé
(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)



Image 186. Acide ascorbique
(source : Bundeswehr CBRN Defence Command ©)



Image 187. Acide acétylsalicylique sous forme de comprimé
(source : BunBundeswehr CBRN Defence Command ©)

8.2. EFFETS SONORES ET LUMINEUX

Des compositions éclair peuvent être utilisées pour produire des effets sonores et lumineux irritants, par exemple pour les grenades cataplexiantes ou assourdissantes utilisées à des fins répressives (ce qu'on appelle les grenades flash). Par le passé, les compositions éclair appelées poudres éclair étaient utilisées pour créer des flash pour la photographie. Aujourd'hui, elles sont utilisées dans des produits pyrotechniques pour les théâtres, les feux d'artifice et le matériel didactique militaire. Les compositions éclair sont des mélanges d'oxydants et de combustibles. Elles brûlent très rapidement et peuvent se décomposer violemment lorsqu'elles se trouvent confinées. Certaines compositions sont très puissantes et peuvent produire un effet de souffle similaire au TNT, en fonction de la quantité et du confinement.

Les compositions éclair sont très sensibles à tous les stimuli externes, y compris l'électricité statique. La présence (souhaitée) de soufre et une faible granulométrie des constituants augmente leur sensibilité. Les particules de magnésium n'ont pas besoin d'être aussi fines que les particules d'aluminium pour obtenir le même impact négatif ou la même sensibilité.

Dangers des compositions éclair :

- Les compositions éclair contenant du magnésium sont plus sensibles que les autres mélanges contenant de l'aluminium. Les mélanges de magnésium qui entrent en contact avec du PTFE s'enflammeront spontanément.
- Mélanges contenant des chlorates. Un composant se décompose plus vite que ceux contenant des perchlorates et sont plus sensibles. En général, les chlorates ou les perchlorates mélangés au soufre/sulfure sont sensibles aux vibrations, aux frottements et aux étincelles.
- Les mélanges contenant du permanganate de potassium, de l'oxyde de baryum ou du chlorate de baryum puisqu'ils ne sont pas stables et ont tendance à se décomposer spontanément.

Les compositions éclair rencontrées par le passé comprenaient le nitrate de potassium, le perchlorate de potassium, le nitrate de strontium ou le nitrate de baryum en tant qu'oxydant, et la fine poudre d'aluminium ou de magnésium métallique, parfois le soufre et le charbon comme combustible. Le rapport de composition de tous ces mélanges est différent. Sur la base d'essais utilisant des matières premières avec une granulométrie et un mélange déterminés, la sensibilité aux chocs de neuf combinaisons testées variait de 2,9 J à 17,7 J. En dehors du mélange d'Armstrong et en conditions de laboratoire, les compositions éclair à base de nitrate de baryum étaient plus sensibles aux chocs et aux frottements que celles à base de nitrate de potassium. Les compositions à base de perchlorate de potassium ont démontré une sensibilité aux frottements très élevée de l'ordre de 32 N.



NOTE. Les compositions éclair doivent être considérées comme réactives, sensibles et instables. Il faut éviter toute contamination ou tout mélange avec d'autres substances chimiques. Des précautions contre les décharges électrostatiques doivent être prises.

8.3. EFFETS DE COULEUR

Des produits pyrotechniques peuvent être utilisés pour créer des effets de couleur, par exemple pour aveugler l'équipage d'un véhicule ou marquer des positions. La durée et l'intensité de ces effets dépendent des substances chimiques utilisées. En général, le mélange pyrotechnique de base pour les lumières colorées contient du perchlorate de potassium, une source de carbone et du soufre.

Diverses substances chimiques brûlent avec un spectre chromatique unique.⁶¹ Ceci peut être utilisé pour identifier les substances chimiques dans un mélange et peut permettre d'évaluer ses risques. La liste ci-après n'est pas exhaustive.

• Bleu :	sels de cuivre arsenic, plomb, sélénium cobalt	bleu azur bleu clair bleu foncé
• Orange :	sels de sodium	jaune
• Rouge :	sels de strontium composés de calcium lithium	rouge foncé orange pourpre
• Vert :	sels de baryum cuivre zinc	vert clair vert vert
• Violet :	composants contenant du potassium, perchlorate de potassium composants contenant du césium	violet violet
• Doré :	fer charbon	doré doré



Image 188. Lithium, un métal alcalin

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Les effets colorés sont illuminés en ajoutant de l'aluminium, du magnésium ou du zirconium et intensifiés par l'ajout de chlorure de mercure. L'adjonction de poudres métalliques augmente la sensibilité.

⁶¹ Condition préalable à leur utilisation dans des produits pyrotechniques, les composés peuvent être volatils à température de flamme.

8.4. EFFETS DE FUMÉE

Le saccharose (sucrose), le nitrate de potassium, ainsi que le soufre, le tétrachlorure de carbone et le charbon sont les composants de base pour les effets de fumée. On trouve de l'oxyde de fer, des métaux pulvérulents et de la poudre noire dans les mélanges pour écran de fumée blanche et les mélanges de fumée noire. La fumée peut être colorée par l'ajout d'un colorant.

Les effets de fumée sont créés en brûlant des mélanges de nitrate de potassium et de magnésium ou par la réaction de l'oxygène avec du phosphore blanc ou avec des compositions à base d'hexachloroéthane. L'augmentation possible et la durée des effets de fumée dépendent de la quantité des substances chimiques utilisées, et des conditions météorologiques.



AVERTISSEMENT. Il est important de savoir que la fumée représente un risque pour la santé. L'inhalation peut provoquer une grave intoxication et des lésions pulmonaires.

9. EXPLOSIFS PRIMAIRES IMPROVISÉS

Cette section fournit des informations sur un certain nombre de combinaisons possibles, d'applications et de risques liés aux explosifs primaires improvisés. Elle vise à sensibiliser aux applications et dangers potentiels.

9.1. EXPLOSIFS PRIMAIRES IMPROVISÉS : NOTIONS DE BASE

Les explosifs primaires, ou dispositifs d'amorçage, sont utilisés pour déclencher une déflagration ou une détonation. Les initiateurs comprennent les détonateurs et les cordons détonants. En général, les détonateurs sont déclenchés mécaniquement ou électriquement. Des allumeurs improvisés sont également fabriqués. Leur application comprend la mise à feu des propulseurs ou des charges incendiaires.

Les explosifs primaires improvisés rencontrés sont le TATP, le HMTD et l'azoture de plomb. Chacun peut être mis à feu sous l'effet d'une flamme ou du frottement. Le TATP et le HMTD peuvent également être utilisés comme compositions de charges principales. Les détonateurs improvisés peuvent contenir plus d'une composition explosive, comme le chlorate de potassium ou le sucre associé au TATP, au PETN et à l'ETN par exemple.



Image 189. Détonateur à amorçage électrique utilisant des explosifs improvisés à base de chlorate et de peroxyde organique (source: BCL ©)

La conception d'un détonateur improvisé dépend en grande partie des ressources disponibles et des connaissances du fabricant. Généralement, les détonateurs improvisés rencontrés sont à amorçage électrique (par exemple par un exposeur, une batterie ou une autre source d'électricité). Un second type courant est avec un détonateur improvisé à amorçage mécanique (amorçé par une mèche lente ou par un système de tube à choc, par exemple).

Des détonateurs improvisés sans teneur en métal ont également été rencontrés. Dans ce cas, du papier ou du plastique est utilisé pour l'enveloppe. En outre, si la présence d'un détonateur n'est pas indiquée, la prudence s'impose dans la mesure où diverses techniques de mise à feu non métallique ont été développées. Par exemple, certaines compositions de TATP ont été mélangées à du verre dépoli pour exploser par un simple frottement.



Image 190. Dispositif d'allumage de roquette improvisé (source: FSD ©)

D'autres éléments d'amorçage récupérés renfermaient deux composés chimiques distincts qui réagiraient violemment une fois combinés. Ils se déclenchent grâce à l'énergie libérée lorsque les composants sont mélangés. Ces éléments d'amorçage improvisés ne contiennent généralement pas de métal, ce qui rend plus difficile leur détection.



AVERTISSEMENT. Dans les anciens détonateurs improvisés, les charges explosives sont susceptibles de réagir avec l'enveloppe métallique, ce qui pourrait entraîner la formation de sels métalliques extrêmement sensibles. Par conséquent, les détonateurs improvisés ne doivent **EN AUCUN CAS** être considérés comme sûrs à transporter.



Image 191. Exemple de détonateur improvisé (source: FSD ©)



AVERTISSEMENT. Les détonateurs improvisés sont dangereux. L'analyse, le démontage ou la manipulation des détonateurs improvisés ne doit pas se faire par un personnel non qualifié.

Les explosifs primaires artisanaux présentent des caractéristiques qui rendent leur manipulation extrêmement dangereuse, comme leur grande sensibilité et leurs propriétés mécaniques indésirables. Nombre de compositions de détonateurs utilisés dans certains explosifs improvisés (comme l'azoture d'argent) ont été exclues de toute forme d'utilisation militaire ou industrielle en raison de leurs propriétés néfastes comme le manque de stabilité, par exemple.



AVERTISSEMENT. Les explosifs primaires improvisés et les engins explosifs improvisés contenant des explosifs primaires artisanaux ne doivent pas être considérés comme sûrs à transporter.



INDICE. Les détonateurs improvisés, comme les explosifs primaires, doivent être considérés comme très sensibles à la chaleur, aux flammes, aux chocs et aux décharges électrostatiques. Lorsque l'on rencontre des explosifs primaires improvisés, confirmés ou présumés, il convient de prendre toutes les mesures (techniques et organisationnelles) possibles pour éviter la mise à feu par l'un de ces déclencheurs.

Les substances généralement rencontrées dans la production d'explosifs primaires improvisés comprennent l'acétone, l'acide acétique, le carbonate d'aminoguanidine, l'ammoniac, du combustible sec, le peroxyde d'hydrogène, l'iode, le mercure, l'acide nitrique, l'acide picrique, le chlorate de potassium, le nitrate d'argent, l'azoture de sodium, l'hydroxide de sodium, le nitrate de sodium, le soufre ou l'acide sulfurique.

9.2. EXEMPLES D'EXPLOSIFS PRIMAIRES IMPROVISÉS

DINITROBENZÈNEDIAZOXIDE [C₆H₂N₄O₅] OU DIAZODINITROPHÉNOL, DINOL[®], DDNP



Le DDNP est une poudre cristalline jaune explosive qui n'est ni hygroscopique ni volatil. Il était utilisé comme matière première pour les teintures jusqu'à ce que ses propriétés explosives soient découvertes par Wilhelm Will du Ministère prussien de la guerre, en 1892. Il est par la suite utilisé comme initiateur pour les explosifs dans lesquels des compositions d'amorçage sans plomb sont nécessaires. Toutefois, son utilisation militaire a cessé en raison de ses mauvaises propriétés physiques.

Sous l'effet du soleil et/ou de la lumière, il s'obscurcit pour devenir brun-rouge foncé et aura une performance légèrement réduite. Le DDNP produit industriellement est expédié humide avec une teneur en eau d'au moins 40% ou en tant que mélange à base d'alcool dénaturé par l'eau. Le DDNP confiné peut exploser sous l'effet prolongé de la chaleur ou du feu. Il peut être déclenché par une décharge électrostatique, ce qui ne facilite pas sa manipulation. Sa vitesse de détonation est d'approximativement 4 400-6 900 m/s et varie en fonction de la densité et du confinement. La température de décomposition du DDNP est comprise entre 165°C et 195°C. Sa sensibilité aux frottements est considérée comme étant inférieure à celle du fulminate de mercure, du TATP et de l'azoture de plomb. La sensibilité aux chocs du DDNP est d'approximativement 1,5 J. Ses fumées sont toxiques et caustiques.

AZOTURE DE PLOMB [Pb(N₃)₂]

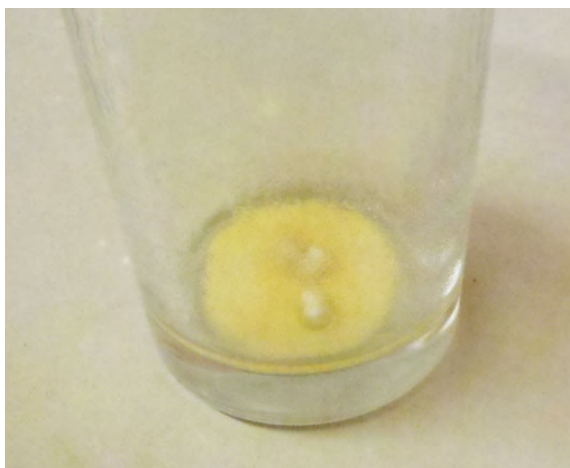


Image 192. Poudre d'azoture de plomb (source: BCL ©)

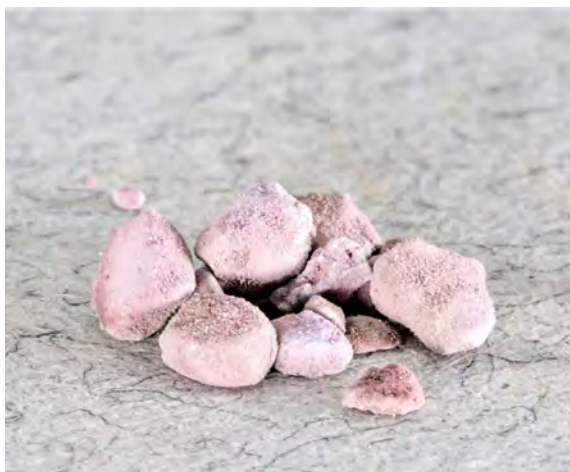


Image 193. Azoture de plomb, produit par une réaction très rapide qui a amené les petits cristaux à former des fragments visibles. La teinte rosâtre est peu commune (source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'azoture de plomb est un solide cristallin explosif incolore qui apparaît sous la forme d'aiguilles légèrement grisâtres ou de poudre blanche. Il explose à des températures comprises entre 315°C et 360°C, et ne se dissout pas dans l'eau. L'azoture de plomb est résistant à la chaleur et à l'humidité. Sa sensibilité augmente avec la taille des cristaux. L'azoture de plomb pur a une sensibilité aux chocs de 2,5–4 J et une sensibilité aux frottements de 0,1–1 N. En fonction de sa densité, sa vitesse de détonation est comprise entre 4 630 m/s et 5 180 m/s. L'azoture de plomb réagit par impact ou frottement, sous l'effet d'une flamme ou d'autres sources d'ignition avec décomposition rapide, et génère de grandes quantités de gaz. Il réagit au contact du cuivre, du zinc, du cadmium ou des alliages contenant ces métaux pour former d'autres azides. Par conséquent, le choix du milieu de stockage et du réceptacle de confinement est important.

L'azoture de plomb est moins toxique que l'azoture de sodium. Sa toxicité est due à l'ion azoture, qui peut faire baisser la tension artérielle et provoquer des vertiges, des nausées et des chutes. L'azoture de plomb peut provoquer des lésions rénales, une splénomégalie et des convulsions fatales.

L'azoture de plomb est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

STYPHNATE DE PLOMB [C₆H₃N₃O₈Pb] OU TRICINAT, KNALLQUEECKSILBER



Image 194. Styphnate de plomb (source: BCL ©)

Le styphnate de plomb est un solide cristallin explosif jaune-orangé à brun foncé. Il n'est pas hygroscopique, pas soluble dans l'eau et est modérément soluble dans l'acétone. Le styphnate de plomb (notamment dans les cristaux longs et fins) est particulièrement sensible aux flammes et aux étincelles électriques, et ne réagit pas avec les métaux. En général, il réagit sous l'effet du choc ou du frottement, de la chaleur ou d'autres sources d'ignition avec décomposition rapide, et génère de grandes quantités de gaz. La sensibilité aux chocs du styphnate de plomb est de 2,5–5 J, et sa sensibilité aux frottements d'approximativement 1,5 N. Le styphnate de plomb est très sensible aux décharges électrostatiques. Il explose à une température de 260°C. En fonction de sa densité, la vitesse de détonation peut atteindre jusqu'à 5 200 m/s.

Le styphnate de plomb est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

FULMINATE DE MERCURE (II) [Hg(CNO)₂] OU CYANATE DE MERCURE, DIFULMINATE DE MERCURE



Image 195. Fulminate de mercure (humide)

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le fulminate de mercure est un solide cristallin explosif, jaune pâle à gris-blanc, qui n'est pas soluble dans l'eau. Une fois sec, il est extrêmement sensible aux chocs et aux frottements. Il réagira à d'autres stimuli externes, par exemple les étincelles et les flammes, avec une décomposition rapide et la formation de grandes quantités de gaz. La sensibilité aux chocs du fulminate de mercure est de 1 à 2 J seulement et sa vitesse de détonation peut atteindre jusqu'à 5 000 m/s, en fonction de sa densité. Il est considéré comme étant extrêmement sensible aux frottements. Compte tenu de sa sensibilité (supérieure à celle de l'azoture de plomb), il est souvent conservé dans l'eau et séché avant utilisation. Ses fumées contiennent du mercure toxique. Le fulminate de mercure serait relativement sûr à manipuler lorsqu'il est humide.

Une explosion peut se produire lorsque le fulminate de mercure entre en contact avec de l'acide sulfurique.

Le fulminate de mercure est extrêmement dangereux pour l'environnement aquatique, même en faibles quantités. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

TRIIODURE D'AZOTE [N₃I₃]

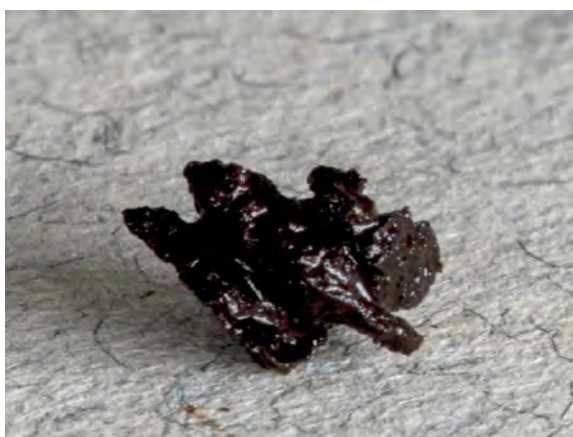


Image 196. Triiodure d'azote (humide)

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

Le triiodure d'azote est une poudre cristalline noire explosive très instable. Il explose au moindre contact ou sous l'effet de la chaleur. Sec, il est sensible de manière quasi-incontrôlable. En raison de sa sensibilité, le triiodure d'azote n'est pas jugé pratique pour les explosifs improvisés.

ACÉTYLURE D'ARGENT [Ag₂C₂]



Image 197. Acétylure d'argent

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'acétylure d'argent est un solide cristallin explosif blanc qui n'est pas soluble dans l'eau. Il est très sensible aux chocs ; son point d'inflammabilité est d'environ 77°C. Sa sensibilité aux chocs est inférieure à 1 J, et sa sensibilité aux frottements est de 0,1 N. Compte tenu de sa tendance à se décomposer durant le stockage et de sa sensibilité, il n'a aucune application commerciale.

AZOTURE D'ARGENT [AgN₃]



Image 198. Azoture d'argent

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'azoture d'argent est un solide incolore explosif ayant la forme de cristaux aciculaires (formant les fragments représentés dans l'image 198). Il noircit sous l'effet de la lumière. Il est sensible à la chaleur, aux frottements et aux chocs, et ne se dissout pas dans l'eau. Sa vitesse de détonation est de 1000 à 5000 m/s, en fonction de sa densité et de la configuration de sa charge. Il commence à se décomposer à 270°C et, porté rapidement à une température de 300°C, il explose. L'azoture d'argent n'est plus utilisé à des fins commerciales en raison de son coût de fabrication élevé et de sa grande sensibilité au frottement.

Il est très peu probable que le personnel de l'action contre les mines trouve par hasard de l'azoture d'argent compte tenu de sa propension à exploser spontanément.

AZOTURE DE SODIUM [NaN₃] OU AZIDE DE SODIUM, TRINITRURE DE SODIUM, SMITE



Image 199. Azoture de sodium

(source : Commandement défense CBRN de la Bundeswehr ©)

L'azoture de sodium est utilisé dans les airbags avec un oxydant pour générer une réaction gazogène. Il est également utilisé dans l'industrie chimique en tant que réactif. Même s'il ne possède pas les propriétés d'un explosif primaire, le personnel de l'action contre les mines peut le rencontrer puisqu'il est utilisé pour produire d'autres azides, comme l'azoture de plomb. L'azoture de sodium est un solide cristallin incolore blanc combustible. Il est très soluble dans l'eau et sensible à l'humidité. Son point d'éclair est d'approximativement 300°C. Il peut produire des explosions de poussières.

L'azoture de sodium ne doit pas entrer en contact avec des métaux non-ferreux, puisque cela conduit à la formation d'azides métalliques qui sont sensibles aux chocs et aux frottements. Dans le cas où des récipients de stockage sont requis, les matériaux adaptés sont le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. Considéré comme très toxique, l'azoture de sodium provoque une irritation des muqueuses et de la peau, des troubles fonctionnels du système nerveux central et du système cardiovasculaire, ainsi que des changements métaboliques. L'azoture de sodium présente des risques graves pour l'environnement aquatique. Il faut éviter d'en déverser dans l'eau, le tout-à-l'égout ou le sol.

CHLORURE TÉTRAMINE DE CUIVRE (II) [Cu(NH₃)₄(ClO₃)₂] OU CUIVRE DE CHERTIER, TACC



Le TACC est un explosif primaire improvisé solide sensible aux chocs et aux flammes. Il se décomposera à l'impact.

TÉTRAZÈNE [C₂H₈N₁₀O] OU 1-TÉTRACÈNE



Le tétrazène est un solide cristallin incolore-jaune clair explosif d'apparence duveteuse. Il ne se dissout pas dans l'eau, l'alcool, l'éther ou le benzol. Son efficacité à la mise à feu est faible mais le tétrazène peut être utilisé dans des détonateurs déclenchés par un autre explosif primaire servant de booster intermédiaire. Mélangé à un autre explosif primaire, il augmente la sensibilité aux flammes ou à la chaleur de ce dernier. Le tétrazène commence à déflagrer à 140°C et sa sensibilité aux chocs est d'approximativement 1 J.

Le tétrazène peut provoquer une irritation des yeux; il est nocif en cas d'inhalation ou d'ingestion. L'inhalation de fortes concentrations peut entraîner une gêne respiratoire. Son ingestion peut provoquer des nausées, des vomissements, de la constipation, des crampes et des maux d'estomac.

10. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES DE SÉCURITÉ

Cette section présente un aperçu des considérations générales de sécurité lorsque l'on rencontre des explosifs artisanaux, des substances chimiques abandonnées (par exemple, dans d'anciens sites de stockage à usage industriel), des sites de production abandonnés ou des stocks de munitions durant des opérations d'action contre les mines.

L'objectif n'est pas de réitérer les normes de protection du personnel bien établies contre les risques explosifs puisque celles-ci sont entièrement couvertes par les Normes internationales de l'action contre les mines (NILAM), les Directives techniques internationales sur les munitions (DTIM), les normes nationales de l'action contre les mines, et les procédures opérationnelles permanentes (POP). La présente section met plutôt l'accent sur les moyens de faire face aux risques pour la santé que les explosifs artisanaux ou les produits chimiques font courir au personnel de l'action contre les mines.



AVERTISSEMENT. Pour de nombreux produits chimiques et dangers biologiques (par exemple les substances produites par la décomposition de matière organique), les mesures de sécurité requises pour prévenir les dommages aigus ou chroniques causés au corps humain, à la vie organique ou à l'environnement sont très spécifiques et uniques.

Les bases de données sur les substances et les fiches de données de sécurité sont une source recommandée pour les informations détaillées requises lorsque l'on rencontre des produits chimiques. Les fiches de données de sécurité comprennent des renseignements détaillés sur les équipements de protection individuelle (EPI) exigés lors de la manipulation d'une substance chimique spécifique. Si l'on connaît le type de substances chimiques susceptibles d'être rencontrées, il convient d'utiliser les fiches de données de sécurité afin de déterminer les EPI nécessaires lors de la préparation d'une tâche spécifique. En général, les POP d'une organisation doivent couvrir les consignes de sécurité lorsqu'on fait face à des menaces chimiques inconnues, bien que non explosives.

10.1. RÈGLES ET MESURES DE SÉCURITÉ ÉLÉMENTAIRES

Cette sous-section décrit les règles et mesures de sécurité élémentaires concernant les dangers non explosifs des explosifs artisanaux et/ou de leurs précurseurs.

10.1.1. MESURES DE SÉCURITÉ

Les explosifs artisanaux ou leurs précurseurs n'exposent pas seulement le personnel à des risques d'explosion. Certaines substances ou certains composés utilisés dans leur fabrication sont physiquement sensibles, d'autres sont extrêmement corrosifs, cancérigènes ou toxiques. L'exposition peut entraîner des effets à court terme, comme des irritations cutanées, ou engendrer de plus graves problèmes de santé à long terme, tels que le cancer, comme dans le cas du nitrobenzène, par exemple. En outre, l'absorption, l'inhalation ou l'ingestion de quelques milligrammes ou moins de certaines substances chimiques peut être mortelle pour les humains.



AVERTISSEMENT. L'absorption peut se faire par la respiration, les muqueuses, la peau ou l'appareil digestif. Il convient de mettre en œuvre des mesures de protection face à ces quatre types d'absorption.

Les bonnes pratiques appliquées pour faire face aux risques associés aux explosifs artisanaux et substances chimiques sont variées; certaines peuvent être appliquées de manière sélective uniquement. En général, l'interaction avec les explosifs artisanaux et les substances chimiques devrait uniquement avoir lieu lorsque les mesures de sécurité adéquates ont été mises en place. Le personnel doit être formé en vue d'acquérir les compétences adéquates nécessaires pour manipuler des matériaux dangereux. Ces compétences doivent inclure les soins d'urgence et l'utilisation de matériel de premier secours, au besoin, lorsque l'on traite les cas prévus de contamination.

Les considérations en matière de sécurité doivent non seulement couvrir le personnel, mais également la protection de l'environnement et les mesures visant à garantir la sécurité du public face aux risques non explosifs également. Les techniques et procédures d'élimination doivent être adaptées aux explosifs artisanaux/substances chimiques spécifiques.



BONNES PRATIQUES. La réponse environnementale peut inclure le nettoyage des matériaux dangereux et de leurs restes.



Image 200. Découverte de substances chimiques contaminant l'environnement. Une exposition aux poussières et/ou aux particules est probable; une absorption peut se produire par la respiration, les muqueuses, la peau ou l'appareil digestif. Une évaluation des risques posés par un produit chimique aide à choisir le type d'EPI adapté et les mesures destinées à réduire au minimum l'impact sur l'environnement (source: FSD ©)

Tous les engins produisant des flammes ou des étincelles doivent être tenus à distance des explosifs artisanaux ou de leurs précurseurs chimiques. Il convient d'utiliser des équipements et des vêtements qui ne produisent pas d'électricité statique, étant donné qu'une décharge électrostatique peut déclencher un explosif improvisé. Dans les zones non contaminées, il est recommandé de porter des vêtements en coton et des chaussures à semelles en caoutchouc. Les équipements doivent répondre aux normes antidéflagrantes. Les déplacements du personnel (à pied) ou les dispositifs à distance (chenilles ou roues) ne doivent pas exercer de pression inutile sur les explosifs artisanaux ou leurs précurseurs.



AVERTISSEMENT. Un explosif artisanal doit toujours être considéré comme une matière énergétique extrêmement sensible.

Face à des emballages ou des contenants, de nouvelles recherches ainsi qu'un appui technique pourront s'avérer nécessaires avant de pouvoir en identifier les risques. Les emballages et les enveloppes sont souvent utilisés sans marquage, sont mal étiquetés ou réutilisés. Il est important de comprendre la chaîne d'approvisionnement locale et de connaître les noms et les étiquettes utilisés au niveau local/régional pour les précurseurs courants.



NOTE. Les chaînes de mise à feu comprenant un mélange d'explosifs commerciaux, militaires et artisanaux qui ne peuvent être séparés doivent être considérées comme un explosif artisanal dans leur globalité.



Image 201. Conditionnement vert pour des produits chimiques réutilisés comme charges principales, avant leur élimination (source: FSD ©)

Les explosifs artisanaux et substances chimiques ne doivent pas être mélangés. Les substances peuvent réagir dangereusement ou exploser en contact les unes avec les autres. Les substances chimiques et les explosifs artisanaux doivent être identifiés avec certitude avant tout traitement ultérieur. Il est recommandé de traiter les explosifs/substances chimiques en vrac inconnus comme s'il s'agissait d'explosifs artisanaux jusqu'à ce qu'une identification certaine ait été établie.

Les groupes de substances chimiques susceptibles de réagir lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres, ainsi que les dangers qui pourraient en résulter, sont présentés dans le Tableau 12:

SUBSTANCE CHIMIQUE		DANGER
Acides	Métaux	Combustion spontanée
Acides	Alcalis	Réaction exothermique (dégagement de chaleur)
Oxydant	Substances organiques	Incendie, explosion
Sulfures	Acides	Intoxication, sulfure d'hydrogène
Métaux alcalins	Eau	Combustion spontanée
Carbures	Eau	Très inflammable, formation de gaz d'acétylène
Poudre métallique	Solutions aqueuses	Combustion spontanée
Poudre métallique	Air/oxygène	Combustion spontanée
Acide nitrique	Substances organiques	Intoxication, sulfure d'hydrogène
Acide nitrique	Métaux	Intoxication, sulfure d'hydrogène

Tableau 12. Aperçu des interactions dangereuses possibles entre substances chimiques

Il convient de prendre des mesures destinées à prévenir un rejet accidentel de substances chimiques et à éviter les incendies. Ces mesures peuvent varier selon la source du danger ou sa toxicité. Les mesures minimales par défaut planifiées à l'avance doivent comprendre :

- le marquage et le déblaiement de la zone menacée et la mise en garde de la population de la zone affectée;
- L'entrée d'une zone contaminée uniquement avec des équipements de protection adaptés;
- Veiller à ce qu'un liant universel (absorbant et agent neutralisant pour acide déversé) soit disponible. Les agents liants et les détergents doivent être éliminés conformément aux règles de protection de l'environnement;
- En cas de rejet de substances chimiques en milieu clos, veiller à ce que les pièces soient aérées, et que les objets et sols contaminés soient nettoyés.

10.1.2. HYGIÈNE ET SÉCURITÉ SUR LE LIEU DE TRAVAIL

Afin de réduire au minimum l'exposition à des éléments toxiques, il convient d'appliquer les réglementations relatives aux agents chimiques en vigueur dans l'industrie lorsqu'on rencontre des explosifs artisanaux et/ou des précurseurs chimiques. Il faut suivre très attentivement les règles d'hygiène individuelle.

Les réglementations en vigueur dans l'industrie précisent entre autres :

- Les objets connus pour être interdits (par exemple les aliments et les boissons, les allumettes ou les médicaments) ne sont pas autorisés à l'intérieur des zones contaminées et des zones de travail.⁶² Des zones appropriées doivent être aménagées à cet effet.
- Éviter tout contact de produits chimiques avec la peau. Le nettoyage de la peau est nécessaire en cas de contact avec une substance chimique.
- Éviter d'inhaler des vapeurs ou des aérosols.
- Limiter les contacts avec les vêtements/EPI. Il faut changer et nettoyer soigneusement les vêtements contaminés. Il est important de savoir que, pour certaines substances chimiques, les équipements ne doivent pas être nettoyés à l'eau. Si un EPI est utilisé, celui-ci ne doit pas être surdimensionné ou trop ample, il doit parfaitement convenir. L'emploi de certains EPI nécessite une formation.
- Changer les vêtements de travail avant les pauses, s'ils sont contaminés.
- Des espaces de stockage séparés doivent être mis à disposition pour les vêtements de ville et les tenues de travail, en cas de risque de contamination de ces dernières.
- Nettoyer la peau avec du savon et de l'eau avant les pauses et après le travail.

⁶² Une liste de ce qui constitue les objets et produits interdits figure dans la [DTIM 06.10](#) clause 5.3, et à l'annexe C.

10.2. ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE ET ÉQUIPEMENTS À SÉCURITÉ INTRINSÈQUE

L'utilisation des EPI est bien décrite et réglementée dans le secteur de l'action contre les mines. Cette sous-section décrit les principaux éléments des EPI destinés à faire face aux **risques non explosifs, toxiques et caustiques** liés aux explosifs artisanaux ou aux matières premières et aux agents biologiques, comme ceux transmis par les cadavres.

10.2.1. RECOURS AUX EPI ET AUX ÉQUIPEMENTS À SÉCURITÉ INTRINSÈQUE

Les EPI sont des équipements et des vêtements qui sont destinés à être portés ou tenus par les employés au travail et qui les protègent contre un ou plusieurs risques menaçant leur sécurité et leur santé.⁶³

Les EPI conçus pour faire face aux risques chimiques, biologiques ou autres peuvent être très spécifiques. Des masques et des respirateurs peuvent également être inclus dans un kit EPI. Travailler dans des espaces contaminés ou confinés peut augmenter le niveau d'EPI nécessaires; par exemple, pour remédier à l'absorption par inhalation.

Les EPI conçus pour faire face aux dangers non explosifs, toxiques ou caustiques peuvent être achetés par l'intermédiaire de prestataires spécialisés dans la protection de l'environnement, de fournisseurs pour l'industrie chimique ou de sites marchands.

Les images 202 et 203 montrent des situations où le personnel de l'action contre les mines peut être exposé à des dangers non explosifs, toxiques ou caustiques, en plus des dangers explosifs, par des substances chimiques ou des conteneurs dont on ne connaît pas le contenu.



Image 202. Substance présentant une possible exposition au nitrate d'ammonium. Non protégé, le nitrate d'ammonium peut être absorbé par la respiration ou par la peau. Les poussières de nitrate d'ammonium soulevées par le vent peuvent irriter les yeux, les muqueuses ou les voies respiratoires (source: GICHD ©)

⁶³ NILAM 04.10 Glossaire des termes et abréviations de l'action contre les mines, Deuxième édition, Amendement 10, Février 2019.



Image 203. Découverte de bidons et conteneurs variés au contenu indéterminé à proximité d'une ancienne usine textile à Mossoul, en Irak ; localisés par un chien détecteur d'explosifs (source: GICHD ©)

L'évaluation d'une tâche planifiée peut guider le choix des EPI, par exemple en ce qui concerne le niveau de protection nécessaire contre les produits chimiques ou l'utilisation d'EPI jetables ou réutilisables. Cette évaluation peut comprendre les questions suivantes :

- Quelles activités sont menées ?
- Quelles procédures de travail sont mises en place ?
- À quels substances/agents biologiques dangereux peut-on s'attendre ?
- À quelle quantité de substances/d'agents biologiques dangereux peut-on s'attendre ?
- Dans quel état physique ou sous quelle forme apparaît la substance dangereuse/l'agent biologique ?
- Dans quelle mesure ou de quelle manière y a-t-il contact avec la substance/l'agent biologique dangereux ?
- Quelle est la durée et l'intensité du contact avec la substance dangereuse/l'agent biologique ?
- Les EPI sont-ils soumis à des contraintes mécaniques ?
- Est-il possible de stocker et de nettoyer les EPI utilisés ?
- Est-il possible de décontaminer les EPI utilisés ?
- Est-il possible d'éliminer de façon appropriée les EPI usagés ?

Les EPI ne doivent pas exposer le personnel de l'action contre les mines à des risques supplémentaires, par exemple en bloquant leur champ de vision ou en entravant sérieusement leur mobilité pendant une enquête, les fouilles, les opérations de neutralisation ou d'élimination.



NOTE. L'usage d'EPI spécifiques peut nécessiter une formation supplémentaire.



INDICE. Les EPI ne doivent jamais être plus restrictifs que nécessaire.



AVERTISSEMENT. Pour tous les éléments d'un EPI, il convient d'observer les limites de temps d'exposition aux produits chimiques (entraînant la pénétration de l'EPI) prescrites ; si la limite est atteinte après contact avec les substances en question, les tenues de protection doivent être remplacées immédiatement.



BONNE PRATIQUE.

Les EPI doivent être mis à disposition des intervenants de première ligne afin d'assurer leur sécurité en cas d'urgence.

Les EPI doivent être nettoyés quotidiennement après utilisation. Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des types spécifiques d'EPI pendant le nettoyage des EPI contaminés. Seuls les équipements et les EPI décontaminés doivent être utilisés, notamment lors d'opérations dans différentes zones contaminées par divers risques chimiques.

Seul un personnel habilité peut procéder à des opérations de maintenance sur des EPI.

Il est recommandé de tenir les EPI déjà utilisés à l'écart des nouveaux équipements non encore utilisés même après les avoir nettoyés et décontaminés.

10.2.2. CONSIDÉRATIONS RELATIVES AUX EPI SPÉCIFIQUES

Des explications sur les EPI qui protègent le torse, la tête et les membres, le système respiratoire, les yeux et les mains contre les dangers non explosifs, toxiques et/ou caustiques sont fournies ci-dessous.

EPI POUR LA PROTECTION DU CORPS (TENUES DE PROTECTION CONTRE LES MATIÈRES DANGEREUSES)

La protection du corps est nécessaire pour éviter toute exposition directe du tissu corporel et des organes externes à un danger, tel qu'un risque de toxicité, par exemple. Elle permet d'éviter l'absorption d'une substance chimique par la peau et/ou les muqueuses. La protection corporelle, telle que les combinaisons de protection chimique, peut être associée à un masque, des gants ou des bottes afin d'atteindre le niveau de protection requis.

La protection corporelle appropriée contre les dangers liés aux substances chimiques couvre une vaste gamme d'équipements, du tablier aux combinaisons de protection chimique, qui doivent être adaptés au risque et à la taille de la personne qui l'utilise.

Comme avec tous les EPI, les combinaisons de protection chimique sont testées selon les normes (nationales) en vigueur et leurs exigences respectives concernant les poussières, les gaz ou les liquides. Entre autres effets, ils sont soumis à des tests de résistance à l'abrasion, de résistance à la perforation, de résistance à la déchirure, de force de traction et de résistance à la perméation de produits chimiques. On en distingue différents types, comme indiqué ci-dessous :

- Les combinaisons de protection chimique étanches au gaz, notamment :
 - les combinaisons de protection chimique étanches au gaz munies d'une alimentation en air respirable indépendante de l'air ambiant intégrée;
 - les combinaisons de protection chimique étanches au gaz munies d'une alimentation en air respirable indépendante de l'air ambiant portée à l'extérieur de la combinaison;
 - les combinaisons de protection chimique étanches au gaz dotées d'une alimentation en air respirable par surpression;
- Les combinaisons de protection chimique non étanches au gaz;
- Les vêtements de protection contre les substances chimiques liquides (étanches aux liquides);
- Les vêtements de protection contre les substances chimiques liquides (étanches aux pulvérisations);
- Les vêtements de protection contre les particules (fines et/ou dispersées) de substances chimiques solides;
- Les vêtements de protection étanches aux pulvérisations (durée limitée).

Les combinaisons de protection chimique peuvent combiner la protection contre les risques liés aux liquides et aux produits chimiques pulvérisés et solides, par exemple. De plus, des EPI présentant des propriétés antistatiques, ou des vêtements de protection contre les agents infectieux ou les risques biologiques, sont également disponibles.



AVERTISSEMENT. L'efficacité des EPI présentant des propriétés antistatiques dépend de l'humidité de l'air.



INDICE. Si des EPI présentant des propriétés antistatiques sont certifiés selon la norme européenne EN 1149-5, la fonctionnalité des équipements antistatiques est uniquement garantie pour un taux d'hygrométrie supérieur à 25%.

Lors de l'exécution de tâches, il convient de connaître et de prendre en considération le délai maximum avant qu'un produit chimique dangereux ne perce une combinaison ou un revêtement de protection (durée maximale de résistance, de perméation par un produit chimique), ce qui fait que l'EPI perd sa protection. Ces données sont communiquées par les fabricants d'EPI et s'appuient sur la substance chimique qui agit et le matériau utilisé.

Si leur entretien et leur remise en état sont effectués par un personnel qualifié, les combinaisons de protection chimique doivent être inspectées pour détecter d'éventuels fixations défectueuses, trous ou fissures avant utilisation. Cela s'applique à la fois aux vêtements de protection jetables et réutilisables. Même neuves, les combinaisons de protection chimique non encore utilisées peuvent avoir été endommagées par une ouverture négligée des emballages. Par conséquent, un contrôle visuel doit être effectué avant de porter un vêtement de protection neuf pour la première fois. L'utilisation de sous-vêtements/vêtements ignifugés peut être appropriée pour réduire au minimum les effets thermiques de la combustion, de la déflagration ou de la détonation sur le corps humain.

EPI POUR LA PROTECTION RESPIRATOIRE

La protection respiratoire vise à empêcher l'absorption par les muqueuses et les poumons.

Les filtres et les masques doivent être adaptés pour faire face à des substances contaminantes spécifiques. À cet effet, le type et les caractéristiques de la contamination doivent être connus. Il convient d'informer le personnel de l'action contre les mines sur les propriétés protectrices des filtres et leurs spécifications (par exemple le marquage et l'étiquetage), les restrictions d'utilisation des appareils de protection respiratoires, et leur champ d'application.

Les filtres à gaz doivent uniquement être utilisés contre les contaminants tels que les gaz et les vapeurs, tandis que les filtres à particules sont utilisés pour faire face aux particules contaminantes. Si l'on prévoit une contamination par des gaz et des particules, il convient d'utiliser des filtres combinés ou des systèmes combinés de filtration.

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un respirateur en cas d'urgence, notamment en cas de rejet accidentel de substance ou si les limites de concentration sont dépassées. Un tel équipement peut également s'avérer nécessaire si la concentration en oxygène de l'air inhalé n'atteint pas un certain seuil (17%).

EPI POUR LA PROTECTION OCULAIRE

Différents types de lunettes et de protections oculaires sont disponibles. Il convient de porter une protection oculaire appropriée, qui soit résistante aux effets corrosifs d'une substance chimique, par exemple. S'il y a également un risque pour le visage, il faut utiliser un écran de protection supplémentaire. En cas de vapeurs ou d'aérosols nocifs pour les yeux, il convient de porter un masque intégral.

EPI POUR LA PROTECTION DES MAINS

Il faut en général utiliser des gants de protection. Le matériau des gants doit être suffisamment imperméable et résistant à la substance qu'on s'attend à trouver. Les gants doivent être obtenus auprès d'un fabricant certifié.

Les gants doivent faire l'objet d'un contrôle d'étanchéité avant utilisation. En cas de contamination, il convient de les nettoyer avant de les enlever et de les jeter. Les gants réutilisables doivent être stockés dans un endroit bien ventilé.

Lors de l'exécution d'une tâche, il faut connaître et prendre en compte le délai maximal avant qu'un produit chimique dangereux ne perce un gant, ce qui fait que le gant perd sa protection. Par exemple, des gants en caoutchouc naturel sont transpercés par l'acétone en l'espace de 10 minutes.



AVERTISSEMENT. Dans le cas de certaines substances, comme les peroxydes ou les acides, les gants en tissu ou en cuir sont totalement inadaptés. Par exemple, les gants en coton ou Nomex® ne sont pas adaptés pour manipuler de l'acide nitrique ou de l'acide sulfurique déversé, les gants en cuir sont inadaptés à la manipulation du peroxyde d'hydrogène (de concentration inconnue).

Pour les gants, les durées maximales de résistance fournies par un fabricant sont des valeurs standard basées sur une température de 22°C et un contact permanent avec le danger. La hausse des températures et la durée de port réduisent la durée de protection.

En cas de doute, il faut contacter le fabricant. Si un gant est approximativement 1,5 fois plus épais/petit que le modèle équivalent pour lequel les informations sont fournies, la durée de protection respective est doublée/réduite de moitié respectivement. Les données sur les risques s'appliquent uniquement aux substances pures. Lorsqu'elles sont transférées à un mélange de substances, les données doivent uniquement être considérées comme une directive.

10.3. STOCKAGE TEMPORAIRE DES EXPLOSIFS ARTISANAUX ET DES SUBSTANCES CHIMIQUES

Le stockage et le transport des munitions, des explosifs et des matières énergétiques sont bien réglementés. Des POP et des solutions fiables ont été développées concernant le stockage et le transport des matières dangereuses. Cette sous-section met en évidence un certain nombre de bonnes pratiques pour le stockage temporaire des explosifs artisanaux et des substances chimiques, conçues pour éviter les accidents dangereux dus à de mauvaises conditions de stockage.

Les [Directives techniques internationales sur les munitions](#) (DTIM) apportent une aide de qualité pour une gestion adéquate des munitions. La plupart des conseils fournis par les DTIM sont d'une grande utilité lorsque l'on est forcé d'entreposer des explosifs artisanaux et des précurseurs chimiques.

Les «Recommandations de l'ONU relatives au transport des matières dangereuses» portent sur la réglementation du transport des matières dangereuses, en lien avec les gouvernements et les organisations internationales. Ces recommandations ont été élaborées à la lumière des progrès techniques, de l'apparition de nouvelles substances et de nouveaux matériaux, des exigences des systèmes de transport modernes et, surtout, du besoin d'assurer la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement.



NOTE. Aux fins de la présente publication, le stockage temporaire est défini comme l'entreposage de matières dangereuses dans des conteneurs ou des emballages fermés sur un site conçu à cet effet. Le stockage désigne l'entreposage de marchandises dangereuses dans des installations aménagées à cette fin, comme on en trouve dans l'industrie ou les usines de traitement des déchets.



INDICE. Des informations détaillées sur le transport des munitions et des marchandises dangereuses figurent dans les «Recommandations de l'ONU relatives au transport des marchandises dangereuses», l'«Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route» (ADR) et l'Accord de l'Union européenne relatif au transport international des marchandises dangereuses par route. L'Annexe D à la DTIM 08.10 fournit un résumé de ces réglementations.

10.3.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE STOCKAGE TEMPORAIRE DES EXPLOSIFS ARTISANAUX ET DES SUBSTANCES CHIMIQUES

Le stockage des explosifs et des substances chimiques est réglementé par le droit national. Des lois et obligations semblables réguleront le stockage temporaire. Des cadres normatifs sur le stockage des substances dangereuses (solides, liquides et gazeuses) sont généralement élaborés pour réglementer leur entreposage dans leurs contenants d'origine (par exemple des barils, des bouteilles ou des sacs). Ces cadres peuvent s'avérer très complexes et couvrir une grande variété de substances, en faisant une distinction entre les propriétés explosives et les autres dangers. Même si les exigences réglementaires en matière de stockage de substances dangereuses peuvent varier d'un pays à l'autre et s'avérer complexes, nombre de réglementations offrent des directives concrètes. Les organisations d'action contre les mines doivent évaluer tous les dangers quels qu'ils soient dans le cadre de leur évaluation des risques et adopter des mesures de protection appropriées.

Les explosifs artisanaux et les substances chimiques auxquels est confronté le personnel doivent être identifiés comme constituant un risque au cours des premières phases de planification. Il convient en priorité de les éliminer immédiatement ou de les stocker dans un centre de gestion des déchets.



BONNE PRATIQUE. Déjà mélangé pour produire une composition explosive, un explosif artisanal présente un risque d'explosion. Les DTIM couvrent les principes et les pratiques de stockage approprié. Un explosif artisanal doit toujours être entreposé en tenant compte des prescriptions réglementaires applicables au groupe de compatibilité «L», notamment lorsque les conditions de stockage ont été prises en considération et que l'explosif artisanal peut être transporté en toute sécurité. Un explosif artisanal doit toujours être stocké séparément de tous les autres articles appartenant à d'autres groupes de compatibilité, et de tous les autres articles de différents types de groupes de compatibilité et de division des risques 1.1 (la division des risques 1.1 fait référence aux substances et aux articles présentant un danger d'explosion en masse).

La décision de fournir un stockage temporaire dépend dans une large mesure du mandat d'une organisation, de la situation régionale et d'autres conditions telles que l'accès à des centres de gestion des déchets. Toutefois, l'entreposage à court terme des explosifs artisanaux et des substances chimiques nécessite par ailleurs des normes minimales pour le stockage et la sécurité. Lorsque l'on stocke temporairement des produits chimiques et des explosifs artisanaux récupérés, il convient de prendre en considération les exigences suivantes :

- la prévention de toute contamination ultérieure de l'environnement ;
- la protection des matériaux entreposés contre les intempéries et d'autres influences extérieures ;
- la protection contre l'accès non autorisé aux explosifs artisanaux et aux substances chimiques ;
- la sécurisation du site de stockage contre tout accès non autorisé ; et
- le respect des autres mesures de sécurité nécessaires lors de la manipulation de substances dangereuses.

Certaines installations professionnelles de gestion des déchets (pas toutes) sont équipées de moyens appropriés de stocker et de traiter des substances chimiques ; on peut en effet trouver des entreprises spécialisées dans la gestion des déchets chimiques. En fonction du lieu et des infrastructures disponibles, l'utilisation de ces centres ne peut être garantie. L'obligation de stocker les explosifs artisanaux et les substances chimiques peut amener les organisations de l'action contre les mines à créer des sites de stockage temporaire offrant un niveau de protection plus élevé à plus long terme. La création d'un site de stockage temporaire doit également empêcher qu'un préjudice soit causé à l'environnement et aux populations locales.

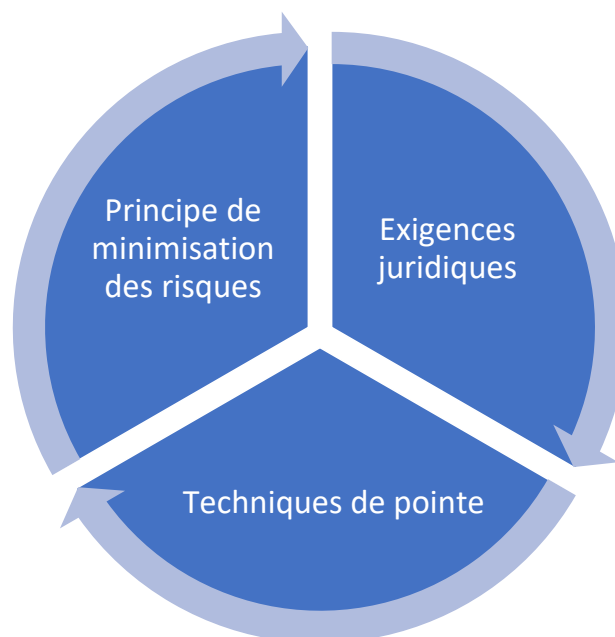


Figure 8. Principes de stockage des matières dangereuses (source : GICHD ©)

Les bonnes pratiques de stockage des marchandises dangereuses suivent le principe de la minimisation des risques, la conformité aux exigences juridiques et l'application de techniques de pointe, mais pratiques. Pour veiller à ce que cette approche soit suivie/mise en œuvre, il est souhaitable d'opter pour une solution de stockage complète au stade de la planification.

Une solution de stockage complète doit :

- tenir compte des conditions environnementales locales et adapter les méthodes de stockage à la nature dangereuse des substances à stocker ;
- identifier les mesures et procédures contradictoires assez tôt dans le processus de planification ; et
- se conformer aux exigences juridiques.

Pour atteindre ces objectifs, la solution de stockage complète doit :

- inclure une description de l'état du site ;
- fournir des précisions sur les types et les quantités d'explosifs artisanaux/de substances chimiques à stocker ; et
- préciser les mesures constructives, techniques et organisationnelles à prendre.



NOTE. Pour un stockage approprié à court terme (par exemple sur un site de fouille), il convient de prendre des mesures de protection analogues.

DANGERS POSSIBLES	IMPACT
incendie/explosion	émanation de fumées et de vapeurs toxiques, effets secondaires des explosions ; contamination des sols, des eaux de surface et des nappes phréatiques par l'eau d'extinction utilisée
inondation	danger de l'eau contaminée pour l'environnement
fuites ou élimination inadéquate	propagation de substances toxiques ou dangereuses pour l'environnement

Tableau 13. Répercussions possibles d'un stockage inapproprié

Lorsque des substances dangereuses doivent être stockées dans des conteneurs ou en grandes quantités, l'espace disponible dans un entrepôt adapté atteint souvent ses limites. Les sites de stockage de matières dangereuses peuvent être utilisés pour un entreposage en toute sécurité. Les sites de stockage de matières dangereuses offrent beaucoup d'espace pour l'entreposage polyvalent en toute sécurité des substances inflammables et susceptibles de polluer l'eau.



BONNE PRATIQUE. Un emballage vide de produits chimiques peut encore comporter des risques. Les quantités résiduelles peuvent produire des mélanges air-vapeur inflammables et explosifs. Les contenants contaminés et souillés doivent être traités comme les pleins. Toutefois, il est recommandé de les séparer des emballages pleins et de les marquer comme vides.

L'organisation du stockage des substances chimiques est moins préoccupante, dans la mesure où celles-ci sont généralement stockées partout dans le monde pour divers usages industriels. Les entreprises commerciales proposent des solutions fonctionnelles et éprouvées à l'international pour mener à bien cette tâche. Toutefois, les contraintes budgétaires et les restrictions d'accès aux zones opérationnelles

peuvent empêcher une organisation de l'action contre les mines de recourir au soutien de prestataires commerciaux. Il peut ainsi s'avérer nécessaire de trouver des solutions de stockage temporaire afin de réduire les risques à un niveau aussi bas que possible. En outre, il pourrait être nécessaire d'adapter les sites de stockage aux besoins spécifiques régionaux.



NOTE. Les conteneurs maritimes standard (par exemple les conteneurs de 40 pieds) constituent une option intéressante pour générer un espace d'entreposage dans un site de stockage (temporaire). Ils offrent une protection contre les intempéries et peuvent être facilement climatisés et aérés. Les conteneurs peuvent être déplacés et réinstallés selon les besoins. À l'aide de moyens simples tels que des sacs remplis de sable empilés comme un mur (traverses), les conteneurs peuvent être renforcés pour contenir la réaction des explosifs stockés à l'intérieur ou solidifiés pour faire face aux effets externes. Par ailleurs, il est possible d'utiliser des engins de manutention pour créer des murs de protection de fortune autour d'un conteneur.

Le stockage des substances chimiques sans leur emballage d'origine, conçu pour atténuer les risques liés au stockage et au transport, demeurera toujours un défi. Tout emballage non original qui n'est pas utilisé doit donc présenter une résistance mécanique, thermique et chimique suffisante pour remplir sa tâche. En règle générale, les emballages doivent être homologués pour le transport sur les voies publiques. Les récipients en plastique sont sujets au vieillissement et ont donc une durée de vie maximale (généralement 5 ans en Europe). L'exposition aux rayons ultraviolets peut considérablement accélérer le vieillissement.



NOTE. Quiconque opère dans des installations de stockage et de manutention de substances dangereuses doit veiller à ce que des mesures soient prises conformément aux bonnes pratiques. Il convient de noter que certains dangers ne peuvent survenir que lorsque des substances chimiques entrent en contact avec d'autres. Pour éviter que cela ne se produise, il faut impérativement prêter attention au stockage combiné de substances aux stades de la planification et de la mise en œuvre.

10.3.2. CONSIDÉRATIONS RELATIVES AU STOCKAGE DES SUBSTANCES CHIMIQUES

Les liquides inflammables brûlent rapidement jusqu'à ce qu'ils se décomposent de manière explosive, et accélèrent la propagation du feu en coulant vers l'extérieur une fois qu'un récipient est percé. Les liquides qui sont moins denses que l'eau ou non miscibles avec l'eau ont tendance à flotter à la surface de l'eau d'extinction, en continuant à brûler. Les vapeurs de liquides inflammables sont généralement explosives et peuvent être enflammées par des étincelles ou des décharges électrostatiques. Les récipients vides qui n'ont pas été nettoyés contiennent souvent des mélanges air-vapeur explosifs. La plupart des liquides inflammables présentent un danger pour le sol, le sous-sol et l'eau.

Les solides ont un comportement de combustion différent des liquides. Cela peut aller d'une combustion incandescente à violente. La poussière de solides combustibles peut être explosive même si la substance n'est pas dangereuse. Les solides peuvent couvrir sur une longue période (de quelques jours à plusieurs semaines). Cela peut conduire à une combustion spontanée et un départ de feu inopiné. Il faut éviter que la poudre ne dégouline sur le sol et ne pénètre à l'intérieur d'autres matériaux.

Les substances spontanément inflammables, notamment les mélanges et les solutions (solides ou liquides), peuvent très rapidement s'enflammer au contact de l'air, même en faibles quantités. Les substances à échauffement spontané, notamment les mélanges et les solutions (solides ou liquides), peuvent s'enflammer spontanément au contact de l'air en plus grandes quantités et après une période plus longue, et sans apport énergétique supplémentaire. Il faut éviter de les exposer à des températures élevées (rayons du soleil). Il convient par ailleurs d'empêcher toute hausse de température due à des frottements internes pendant le transport et le stockage. Les substances spontanément inflammables

doivent être entreposées séparément des autres explosifs, des matières comburantes et des substances inflammables. Il convient de les entreposer de manière à les protéger contre un risque de propagation d'incendie.

Différentes substances chimiques réagissent au contact de l'eau pour former des gaz inflammables ou explosifs. Une telle réaction dégage généralement tant de chaleur que le gaz produit s'enflamme lui-même. Ces substances doivent être stockées séparément des autres substances dangereuses et de préférence pas en plein air. Une bonne aération de la pièce est recommandée. Ces substances doivent être stockées dans des conteneurs hermétiquement fermés dans un endroit sec et frais. Des dangers particuliers peuvent survenir lorsque des halogènes, des acides, de l'eau et des agents oxydants sont entreposés ensemble.

Les substances oxydantes, tout comme les substances combustibles, forment des mélanges extrêmement inflammables ou explosifs. Ces produits ne sont pas nécessairement classés comme dangereux mais sont suffisants pour être à l'origine d'un départ de feu dans des matières en substance inflammables, comme le sucre ou les copeaux de bois. Une attention particulière doit être portée aux peroxydes organiques, qui combinent les propriétés des substances oxydantes et inflammables. En règle générale, elles brûlent très violemment, voire même de façon explosive. Il est recommandé d'envisager de stocker les peroxydes organiques séparément. Les substances oxydantes doivent être entreposées séparément des substances inflammables et corrosives. Les substances oxydantes et les peroxydes organiques ne doivent pas être stockés ensemble.

Les substances toxiques peuvent avoir un effet très néfaste voire même léthal sur les humains, la flore et la faune, et l'environnement, même en très petites quantités. Ces substances chimiques doivent être entreposées de telle sorte qu'elles soient inaccessibles aux personnes non autorisées. Elles ne doivent pas être stockées à proximité de la nourriture humaine ou animale. Lorsque l'on manipule des substances toxiques, la priorité doit être mise sur l'autoprotection et la protection des autres. Les employés doivent recevoir une formation régulière sur les procédures de manipulation, de sécurité et d'urgence à adopter.

Les substances corrosives et caustiques nuisent gravement à la santé, ou entraînent même la mort, lorsqu'elles entrent en contact avec la peau, les muqueuses, les yeux ou en cas d'ingestion. Ces substances chimiques peuvent corroder les métaux et activer leur décomposition. De plus, elles peuvent former des gaz dangereux une fois en contact avec l'air. Les substances corrosives et caustiques doivent être séparées des autres en combinaison avec lesquelles elles forment des gaz dangereux, et des substances qui peuvent être à l'origine d'un départ de feu. Les récipients et les bacs de récupération doivent être faits de matériaux résistants au milieu. Les acides et les alcalis peuvent réagir mutuellement pour générer une quantité considérable de chaleur, et doivent être entreposés séparément.

Les substances dangereuses pour la santé ou irritantes peuvent provoquer des dommages en cas d'ingestion ou par contact, et/ou avoir des propriétés dangereuses pour l'environnement. Dans le cas de substances liquides, il faut éviter d'en déverser dans le sol, les eaux de surface et les nappes phréatiques. S'il s'agit de substances solides, l'eau de pluie ou l'eau d'extinction peut entraîner leur infiltration dans le milieu environnant. Les solides peuvent aussi être dispersés par le vent. Pendant le stockage, il faut veiller à ce qu'aucune substance nocive pour la santé ou irritante ne pénètre dans le sol, le sous-sol, les eaux de surface ou les nappes phréatiques.

10.3.3. MESURES STRUCTURELLES, TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES

Les mesures organisationnelles se sont avérées être un outil efficace et peu coûteux pour améliorer la sécurité et empêcher les accidents pour les différents types de stockage.

Les mesures organisationnelles garantissent :

- la surveillance et la documentation permanentes des explosifs artisanaux et des substances chimiques entreposés ;
- l'adéquation aux besoins de stockage ;
- la prévention des erreurs de manipulation ;
- l'application des bonnes pratiques de travail ;
- la protection des produits stockés contre les influences de l'environnement ou des événements extérieurs ;
- que les conditions préalables à une enquête en cas d'accident sont fixées ; et
- la sécurité contre le vol.

L'évaluation des risques liés aux propriétés des explosifs artisanaux et des substances chimiques stockés temporairement établit les conditions préalables à un stockage en toute sécurité et bien organisé. Les questions à poser lors d'une telle évaluation s'articulent comme suit :

- Quels dangers les bien entreposés présentent-ils, compte tenu de leurs propriétés chimiques et physiques ?
 - Explosion et comportement au feu ;
 - Réactivité ;
 - Stabilité chimique et physique ;
 - Émission de fumées et de vapeurs ;
 - Effets de la décomposition sur les contenants, les emballages, etc. ; et
 - Menace toxique pour les humains et l'environnement.
- Quelles sont les questions à prendre en compte aux alentours d'un site de stockage temporaire ?
 - Distances de sécurité ;
 - Infrastructures avoisinantes ;
 - Bouches d'évacuation ;
 - Accès par un personnel non autorisé ; et
 - Catastrophes naturelles.



BONNE PRATIQUE. Les bouches d'évacuation à proximité doivent être fermées ou sécurisées de sorte qu'aucune substance dangereuse et que l'eau d'extinction ne puissent s'écouler librement.

- Quelles contre-mesures permettent de réduire les risques et d'améliorer la sécurité du stockage ?
Celles-ci comprennent :
 - toute source d'information sur les substances chimiques entreposées susceptible d'être évaluée ;
 - l'accès réglementé ;
 - un plan de formation spécifique aux dangers à l'attention du personnel ;
 - un plan de réaction en cas d'incident, notamment un plan de protection incendie et du matériel anti-feu ;
 - la flegmatisation des explosifs artisanaux et des substances chimiques (par exemple stocker le phosphore dans l'eau) ;
 - la séparation des produits selon leur classification des substances dangereuses ;
 - la séparation des explosifs primaires et secondaires ;
 - la séparation des substances inflammables, des propulseurs et des produits pyrotechniques ;
 - l'organisation de la séparation spatiale des stocks ;
 - la séparation des substances chimiques qui ne doivent pas être stockées ensemble, car tout contact pourrait provoquer des réactions intenses ;
 - la détermination de la quantité maximale d'explosifs considérée sécuritaire par lieu d'entreposage ;
 - des mesures de protection structurelles ;
 - la création de compartiments coupe-feu ;
 - la limite des quantités stockées par compartiment coupe-feu ;
 - la fourniture d'EPI appropriés ;
 - la fourniture de matériels de premier secours adaptés à la menace, comme des douches oculaires ; et
 - la fourniture de liants huileux, de liants chimiques et de pelles.
- Existe-t-il des menaces extérieures au site de stockage, notamment des menaces d'origine humaine et naturelle (comme des inondations) ?
- Quelles sources externes de danger ou installations censées être protégées se trouvent dans les environs ?

Les dangers qui menacent la zone environnante ne comprennent pas uniquement la fragmentation résultant d'une détonation. Les effets de la fragmentation peuvent être réduits en limitant les quantités de produits chimiques par stock, et adoptant des mesures de protection structurelles. Les menaces qui pèsent sur la zone environnante comprennent également les propriétés toxiques et caustiques des substances chimiques. Les fumées et les vapeurs peuvent représenter une menace pour la santé. Empêcher tout écoulement de substances chimiques dans l'environnement aquatique est aussi important que la protection incendie. En fonction de la quantité et du type de substance, la contamination de l'environnement peut avoir des effets néfastes sur la vie dans les mois ou les années à venir.



BONNE PRATIQUE. Les matériaux de construction ne doivent pas contribuer à augmenter la fragmentation en cas de risque d'explosion ou d'incendie.

L'évaluation des risques fournira des lignes de conduite pour procéder à un stockage organisé en toute sécurité, bien qu'il faille garder à l'esprit qu'un stockage adéquat constituera généralement un défi durant les opérations de l'action contre les mines. Le stockage des matières dangereuses nécessitera une incroyable faculté d'improvisation, des compétences en matière de planification et une bonne capacité d'adaptation de la part de l'organisation, notamment si le soutien d'un État est limité. Dans des situations post-conflit, il peut être difficile de respecter les normes industrielles en matière de stockage des substances dangereuses mais cela doit quoi qu'il en soit être considéré comme primordial.

Les directives industrielles⁶⁴ proposent sept étapes principales pour évaluer un site de stockage prévu :

- **Étape 1 – État des stocks.**
Il convient de dresser un état détaillé des stocks. Quels substances et produits chimiques doivent en principe être stockés ? Il sera toujours difficile d'anticiper tous les types d'explosifs artisanaux et de substances chimiques.
- **Étape 2 – Classification et propriétés dangereuses.**
La classification et les propriétés dangereuses des explosifs artisanaux et des substances chimiques entreposés viennent s'ajouter à la liste. Cela inclut le Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH), les classes de risques liés à l'eau, le point d'éclair,⁶⁵ la santé, les dangers pour l'environnement et les risques d'explosion. En fonction des substances, d'autres produits peuvent être ajoutés.
- **Étape 3 – Capacités maximales de stockage.**
Les quantités maximales prévues de substances et de produits à entreposer sont ajoutées à la liste, laquelle doit respecter les limites juridiques applicables. Étant donné la nature de la liste, nombre de produits et de nouvelles entrées peuvent reposer sur des hypothèses.
- **Étape 4 – Détermination de la classe de stockage correspondante.**
Déterminer les classes de stockage correspondantes :⁶⁶
 - Substances explosives ;
 - Substances infectieuses ;
 - Substances radioactives ;
 - Gaz liquéfiés et sous pression ;
 - Substances oxydantes/péroxydes organiques ;
 - Substances spontanément combustibles ;
 - Gaz inflammables au contact de l'eau ;
 - Solides inflammables ;
 - Substances toxiques ;
 - Substances corrosives et caustiques ;
 - Autres liquides ;
 - Autres solides portant des étiquettes de danger ; et
 - Autres solides sans étiquettes de danger.
- **Étape 5 – Attribution.**
Les capacités de stockage disponibles sont attribuées aux classes de stockage correspondantes.
- **Étape 6 – Exigences relatives aux espaces/sites de stockage.**
Les exigences relatives aux espaces/sites de stockage comme les compartiments coupe-feu, la ventilation, l'étanchéité, les agents d'extinction, la protection contre les explosions entre autres, sont déterminées.
- **Étape 7 – Mise en œuvre.**
Mise en œuvre des résultats de l'aménagement du site de stockage. Il convient de réaliser un état des lieux périodique.



NOTE. Une évaluation appropriée du site de stockage aidera à définir les équipements et procédures nécessaires afin de faire face à une urgence telle qu'un incendie ou une contamination.

⁶⁴ Hans-Peter Beutler et al., Lagerung gefährlicher Stoffe, Leitfaden für die Praxis (Stockage des substances dangereuses : guide pratique) (Frauenfeld : Environmental Departments of the cantons of Nordschweiz, Thurgau and Zürich, as well as GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich, 3ème édition révisée, 2018).

⁶⁵ Si une température ambiante dépasse le point d'éclair (point d'inflammabilité) d'une substance, ses vapeurs inflammables forment une atmosphère explosive avec l'air ambiant.

⁶⁶ Dans chacune des classes de stockage, les substances du même type présentant des caractéristiques de dangerosité sont regroupées et requièrent donc les mêmes mesures de sécurité. Certaines classes de stockage (par exemple les substances infectieuses) sont énumérées uniquement dans un souci d'exhaustivité, puisqu'elles ne concernent pas les explosifs artisanaux ou leurs précurseurs.

Il convient de constituer des zones de stockage spécifiques dans l'espace disponible, afin de réduire au minimum :

- la nécessité de mettre en œuvre des mesures de protection constructives, et leur nombre ;
- les efforts nécessaires pour prendre des mesures de prévention contre les incendies ;
- la quantité nécessaire de bacs de récupération ; et
- la quantité nécessaire de liants chimiques.



INDICE. Un bac de récupération doit être résistant aux produits chimiques et avoir au minimum le volume utile du lot stocké le plus gros.

Un outil méconnu mais efficace consiste à tenir une comptabilité (substances entreposées, leur quantité, leur lieu d'entreposage notamment) et d'avoir une indication visuelle des allées et des sections transversales des infrastructures utilisées. Le personnel et les intervenants extérieurs doivent pouvoir accéder facilement à ces informations en cas d'urgence.



BONNE PRATIQUE. Une documentation appropriée et bien organisée contribue à prévenir les accidents et peut aider à atténuer leurs effets. Celle-ci fournit des informations sur le type de substance chimique, le ou les risques qui y sont associés et leur emplacement sur le site de stockage. Elle doit en outre préciser les règles qui permettent d'établir quand il convient de cesser les opérations d'extinction, en cas d'incendie, en raison d'un risque accru d'explosion et quand il peut être procédé à l'évacuation. En outre, une comptabilité appropriée permet d'éviter d'oublier des substances chimiques stockées et un risque potentiel accru d'explosion ou d'incendie dû au vieillissement.

Il est utile de marquer les stocks individuels (par exemple les conteneurs) en fonction des risques qu'ils présentent (matière explosive, corrosive, risque biologique, etc.). Une version imprimée ou téléchargée des fiches de données de sécurité ou des renseignements relatifs aux matières dangereuses doivent venir compléter les informations déjà fournies.



NOTE. Si une organisation dispose de ses propres entrepôts pour les substances énergétiques nécessaires à ses opérations, il est conseillé d'entreposer les explosifs artisanaux et les précurseurs chimiques explosifs séparément de ces stocks.

Le stockage temporaire des explosifs artisanaux et des substances chimiques doit être réparti en fonction des risques explosifs, entre autres. Dans les espaces de stockage clos, il doit être possible d'aérer les lieux avant d'entrer. Dans ces espaces clos, des mesures anticipatives (prévention de la dispersion de poussières, par exemple) pour faire face à la menace des explosions de poussières sont également requises.



AVERTISSEMENT. Il n'est pas indiqué d'entreposer des explosifs artisanaux et des substances chimiques dangereuses avec des matières inflammables comme le bois, les boîtes en carton, le papier ou les matières plastiques.

10.3.4. SÉPARATION SPATIALE

En fonction de l'espace disponible, des ressources financières, du soutien et du type d'explosifs artisanaux et de substances chimiques, diverses solutions de stockage peuvent être adoptées sur un site de stockage temporaire. Toutes visent à protéger contre les incendies et les explosions, mais aussi à réduire au minimum les effets d'un incident à la fois sur le site de stockage temporaire et dans la zone environnante.

La séparation spatiale augmente la sécurité d'un site de stockage temporaire. Certaines mesures de séparation et de protection ciblent des menaces très spécifiques définies par les classes de stockage. La figure ci-dessous illustre les concepts de stockage temporaire, stockage séparé et stockage sélectif.

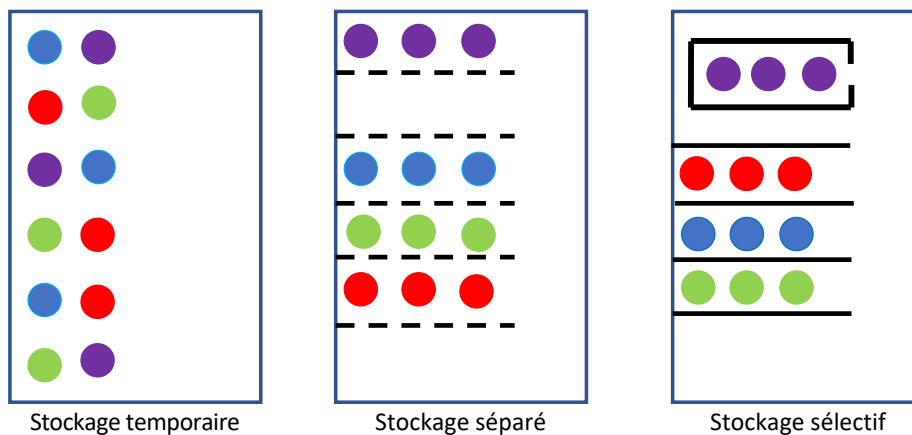


Figure 9. Options de stockage (source : GICHD ©)

STOCKAGE TEMPORAIRE

Les explosifs artisanaux et les substances chimiques peuvent être temporairement stockés au moment de leur livraison. Cela vaut notamment pour les produits chimiques qui ne présentent pas de risques particuliers ou qui ne font l'objet d'aucune restriction en fonction de leur classe de stockage. Il s'agit d'une démarche très rentable.

STOCKAGE SÉPARÉ

Les explosifs artisanaux et les substances chimiques soumis à des contraintes de stockage en raison de leurs propriétés chimiques et physiques doivent être entreposés séparément. Ceux qui présentent des caractéristiques et des réactions similaires peuvent être stockés dans le même compartiment coupe-feu. Pour chaque compartiment, des mesures de protection doivent être mises en œuvre, par exemple des distances minimales, des bacs de récupérations séparés et des quantités maximales de matières entreposées. Augmenter l'espace entre les stocks individuels permet d'améliorer la sécurité de stockage, d'empêcher la progression d'un incendie et de réduire au minimum les risques de détonation par influence (mise à feu imprévue et accidentelle d'un explosif par une détonation à proximité, que l'on appelle parfois un embrasement éclair) d'un stock à l'autre. Une règle éprouvée pour le stockage des explosifs est depuis toujours qu'une distance accrue améliore la sécurité.



BONNE PRATIQUE : les mesures de protection contre les incendies sont plus efficaces si les substances sont entreposées séparément en fonction de leurs propriétés anti-incendie et de leur classe de stockage. Un exemple consiste à séparer les substances chimiques qu'il ne faut pas éteindre avec de l'eau et à mettre à disposition le matériel d'intervention sur les lieux.

STOCKAGE SÉLECTIF

Le stockage sélectif répartit strictement les explosifs artisanaux et les substances chimiques en fonction de leurs propriétés, de leur compatibilité et du danger prévisible. Des techniques de construction spécifiques sont utilisées pour atténuer les effets d'une explosion, à l'instar des compartiments coupe-feu séparés. Si l'espace disponible est compromis et qu'aucun espace de stockage n'est disponible, il est possible de mettre en place un système de stockage séparé dans certaines travées mais uniquement avec les produits censés présenter un moindre risque.



NOTE. Si l'élimination n'est pas possible, il est préférable de les stocker en toute sécurité en mettant en œuvre toutes les techniques de stockage disponibles, plutôt que d'exposer les explosifs artisanaux et les précurseurs chimiques d'explosifs aux éléments ou à un risque de nouveau détournement illicite.

10.4. LUTTE CONTRE LES INCENDIES

Seul un personnel formé et équipé à cet effet sera habilité à intervenir contre les incendies impliquant des explosifs artisanaux ou des précurseurs chimiques. Les règles de base ci-après peuvent s'avérer utiles lorsqu'un foyer d'incendie est détecté ou pour la préparation du stockage temporaire.

10.4.1. MESURE DE SÉCURITÉ

Certaines substances chimiques ne brûlent pas mais ont un effet oxydant. Cette propriété accroît le risque d'incendie au contact de substances inflammables et peut contribuer à propager un feu existant. Si ces substances chimiques sont impliquées dans un foyer environnant, il convient (si cela peut se faire sans danger) de :

- refroidir les récipients et autres conteneurs avoisinants par pulvérisation d'eau ;
- les écarter de la zone de danger si possible ; et
- éliminer les sources d'ignition.



NOTE. Des informations spécifiques sur le comportement d'une substance exposée à la chaleur ou au feu sont communiquées dans les fiches de données de sécurité, notamment les procédés généraux de lutte contre l'incendie.



INDICE. Les vapeurs dégagées par un incendie peuvent être éliminées par pulvérisation d'eau.



AVERTISSEMENT. La pression accrue due à l'incendie dans les récipients peut les faire éclater ou faire déflagrer ou exploser leur contenu.

Certains explosifs artisanaux, comme le nitrate d'ammonium, peuvent libérer des gaz dangereux comme l'oxyde d'azote et le monoxyde de carbone lorsqu'ils sont exposés à la chaleur. Dans ces circonstances, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser un appareil respiratoire autonome et une combinaison de protection chimique lorsqu'on procède à l'extinction d'un feu.

L'effet d'un incendie sur les explosifs artisanaux ou les précurseurs chimiques dotés de propriétés explosives est difficile à évaluer ou à prévoir compte tenu de nombreux impondérables, comme le point de fusion, les impuretés, la température de combustion, la taille des particules, la densité et le confinement. Il convient, par mesure de sécurité, de s'abriter immédiatement, d'ériger un périmètre de sécurité autour d'une zone élargie et d'évacuer le cas échéant. Le feu doit être combattu, si possible, depuis une position sûre.



AVERTISSEMENT. Dans le cas d'un dégagement soudain et d'un tourbillonnement de grandes quantités de poussières. Il convient de s'abriter immédiatement face au risque d'explosion de poussières.



AVERTISSEMENT. Certaines substances chimiques se décomposent brutalement au contact de l'eau.

10.4.2. EXTINCTEURS PORTABLES

Les extincteurs portables constituent un moyen approprié d'éteindre un incendie naissant. Il est important qu'un extincteur contienne l'agent extincteur approprié pour mener à bien cette tâche et doit être sélectionné en fonction de la charge combustible et de la classe d'incendie prévues.

CHARGE COMBUSTIBLE	Substances solides (Europe : incendie de classe A)
	Substances liquides (Europe : incendie de classe B)
	Substances gazeuses (Europe : incendie de classe C)
	Feux de métaux (Europe : incendie de classe D)
	Feux de graisse (Europe : incendie de classe F)

Tableau 14. Classification des charges d'incendie

Les extincteurs comprennent les extincteurs rechargeables et les extincteurs à pression permanente. Les extincteurs rechargeables sont pour leur part beaucoup plus complexes en termes de fabrication et de spécifications techniques. Leurs avantages par rapport aux extincteurs à pression permanente comprennent :

- le dosage simple et suffisant de l'agent extincteur, même pour des utilisateurs novices ;
- la facilité de maintenance ;
- la manipulation en toute sécurité ; et
- une durée de vie légale plus longue (généralement 25 ans, contre seulement 20 ans pour les extincteurs à pression permanente).

Les extincteurs sont disponibles avec des agents d'extinction classiques comme la poudre, la mousse, l'eau et le dioxyde de carbone (CO₂). La classe de feu détermine le choix de l'agent d'extinction approprié.

POUDRE

La poudre d'extinction ABC est l'agent d'extinction le plus répandu. Elle se compose principalement de phosphate et de sulfate d'ammonium (approx. 90% au total).

L'avantage des poudres d'extinction ABC est qu'elles peuvent être utilisées de manière universelle pour des incendies de classes A, B et C. En principe, la poudre d'extinction a une forte capacité d'extinction. Elle peut considérablement varier en fonction du type d'incendie.

L'inconvénient de ce type d'agent d'extinction est la formation de poussières extrêmement épaisses et la contamination qui en découle. Les appareils électriques sont très sensibles aux fines poussières produites par les poudres d'extinction ABC.

L'utilisation d'extincteurs à poudre pour éteindre des débuts d'incendie peut rapidement causer des dommages importants dans certains cas en raison de la contamination par la poudre ABC elle-même.

Des poudres d'extinction spécifiques sont également utilisées pour éteindre des feux de métaux (incendies de classe D).

MOUSSE

Les extincteurs à mousse sont plus propres que les extincteurs à poudre, mais leur performance est relativement faible. Il peut s'agir par ailleurs d'un moyen d'extinction extrêmement efficace en fonction du type de matériau qui brûle.

Les extincteurs à mousse ne sont pas suffisamment puissants pour éteindre des incendies de classe A et B. Ils ont donc une utilité plus limitée que celle des extincteurs à poudre. Pour la plupart des applications commerciales, publiques et privées, toutefois, un extincteur à mousse est une solution de rechange appropriée par rapport aux extincteurs à poudre. En extérieur, on veillera à choisir une version à l'épreuve du gel (par l'adjonction d'additifs).

EAU

Les extincteurs à eau sont exclusivement destinés à éteindre des incendies de classe A. L'ajout d'additifs permet d'améliorer les performances d'extinction comparativement aux extincteurs à eau classique. Les systèmes d'extinction à l'eau sont plus propres qu'avec la poudre mais moins efficaces qu'avec la mousse.

Les feux de graisse (incendie de classe F) sont éteints avec des extincteurs à eau et/ou à mousse spécialement adaptés.

DIOXYDE DE CARBONE CO₂

Les extincteurs au dioxyde de carbone éteignent le feu avec du gaz ininflammable. Au cours du processus, le gaz chasse l'oxygène, étouffant ainsi le feu. Il s'agit du moyen d'extinction le plus propre, sans laisser de résidus. Compte tenu de ses propriétés physiques, cet agent d'extinction n'est adapté que pour les incendies de classe B. Toutefois, les extincteurs au dioxyde de carbone sont également utilisés pour protéger les installations électriques, par exemple dans les salles de serveurs et dans le secteur informatique.

11. CONCLUSION



Image 204. Bidons contenant des explosifs artisanaux avant leur destruction (source: CAR ©)

Le déploiement continu des EEI à travers le monde a polarisé l'attention sur les explosifs artisanaux. Cette tendance ne donne hélas aucun signe de déclin, et leur présence constante continue de faire de nombreuses victimes innocentes.⁶⁷ Comme le souligne le rapport 2021 de l'Observatoire des mines (Landmine Monitor 2021), «En 2020, la plupart des victimes ont été recensées dans des pays en proie à des conflits armés contaminés par des mines improvisées.⁶⁸ Nombre d'engins considérés comme des «mines improvisées» sont notamment conçus à partir d'explosifs artisanaux; il convient donc de prendre en compte les risques liés aux explosifs artisanaux auxquels sont confrontés les personnels opérant dans ces zones et leurs populations.

Ce chapitre a été élaboré afin de répondre au besoin immédiat d'informations de base concernant la prolifération des explosifs artisanaux dans des zones affectées par des EEI. Il vise à appuyer le processus engagé pour veiller à la sécurité des spécialistes de l'action contre les mines (ainsi que d'autres acteurs humanitaires et intervenants de première ligne) en leur permettant de mieux planifier la gestion des risques associés aux engins artisanaux – explosifs ou non. La connaissance des propriétés physiques et chimiques des explosifs artisanaux et de leurs précurseurs chimiques joue un rôle important dans le renforcement des mesures de sécurité et ces informations constituent par conséquent la base du présent chapitre.

Malheureusement, la découverte d'explosifs artisanaux, de sites de stockage contaminés par des explosifs artisanaux ou des sites de fabrication de ces engins comportera toujours un certain risque et nécessitera que les décisions soient prises au cas par cas par le personnel sur le terrain. L'essence même des engins «improvisés» est que leur structure évolue en permanence. Ainsi, les connaissances présentées dans ce chapitre, axées sur les besoins du personnel d'aide humanitaire, appuie la prise de décisions documentées pour identifier et faire face à ces dangers.

⁶⁷ En 2020, au moins 7 073 victimes de mines/restes explosifs de guerre ont été signalés, ce qui représente une augmentation par rapport aux 5 853 victimes enregistrées en 2019, selon le rapport 2021 de l'Observatoire des mines (Landmine Monitor 2021). Les mines improvisées étaient responsables de la plupart des victimes. <http://www.the-monitor.org/en-gb/reports/2021/landmine-monitor-2021/the-impact.aspx>

⁶⁸ Ibid.

À travers l'examen des divers aspects de sécurité relatifs à la lutte contre les engins explosifs artisanaux, il faut espérer que les programmes nationaux et les opérateurs de l'action contre les mines bénéficient d'un appui dans l'élaboration des normes nationales et des procédures opérationnelles permanentes (POP) dans les zones affectées par des EEI. Par exemple, des propositions en matière d'équipements – notamment les EPI – capables de protéger le personnel des effets des explosifs artisanaux, mais aussi lui permettant d'interagir en toute sécurité avec ces substances, ont été formulées. Les EPI appropriés amélioreront très certainement la probabilité que les explosifs artisanaux pourront être enlevés et/ou détruits de la manière la plus sûre possible par un personnel dûment formé. Un autre objectif important du présent chapitre susceptible d'étayer le processus d'élaboration des normes et procédures est de veiller à ce que le personnel de l'action contre les mines et d'aide humanitaire comprenne ce qu'il faut éviter lorsqu'il rencontre des explosifs artisanaux.

Le contenu sur les explosifs artisanaux a été produit avec le soutien et la participation d'un certain nombre d'organisations. Le GICHD tient en particulier à remercier le Commandement défense CBRN de la Bundeswehr, Brimstone Consultancy Limited, Conflict Armament Research et la Fondation Suisse de Déminage, pour leur précieuse collaboration au contenu de ce chapitre.

Enfin, compte tenu de l'évolution des EEI, ce document doit continuer d'évoluer et d'intégrer de nouvelles informations recueillies sur le terrain. Le GICHD compte par conséquent sur la contribution des intervenants de l'action contre les mines engagés dans des zones affectées par la présence d'EEI pour soumettre des commentaires concernant le contenu, notamment pour combler le manque d'informations relatives aux explosifs artisanaux rencontrés sur le terrain. Il est essentiel de partager les renseignements à ce sujet et de fournir au personnel de l'action contre les mines les informations les plus récentes et les plus complètes possible afin de garantir la sécurité et l'efficacité des opérations humanitaires lors de la découverte d'engins explosifs improvisés. Afin d'atteindre cet objectif, nous espérons pouvoir encore compter sur votre appui.

12. ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

AM	Action contre les mines
ANFO	Nitrate d'ammonium–fioul ou ANC
ANIS	Nitrate d'ammonium–sucre glace
ANMAL	Nitrate d'ammonium–nitrométhane–aluminium
ANNIE	Nitrate d'ammonium–nitrobenzène
ANNM	Nitrate d'ammonium–nitrométhane
ANS	Nitrate d'ammonium–sucre
DDNP	dinitrobenzènediazoxide ou diazodinitrophénol, DINOL®
DTIM	Directives techniques internationales sur les munitions
EA	Explosif artisanal
EEI	Engin explosif improvisé
EGDN	Dinitrate d'éthylène glycol ou nitroglycol
EPI	Équipement de protection individuelle
ETN	Tétranitrate d'érythritol
F de I	Figure d'insensibilité
FDS	Fiche de données de sécurité
HMTD	Hexaméthylène triperoxyde diamine
LIE	Limite inférieure d'explosivité
LSE	Limite supérieure d'explosivité
MEKP	Peroxyde de méthyléthylcétone ou peroxyde de butanone
NAA	Nitrate d'ammonium et d'aluminium
NG	Nitroglycérine ou trinitrate de glycéryle
NILAM	Normes internationales de l'action contre les mines
PE	Polyéthylène
PETN	Tétranitrate de pentaérythritol ou nitropenta
PHC	Peroxyde d'hydrogène concentré
PLX	Picatinny Liquid Explosive ou myrol
POP	Procédures opérationnelles permanentes

PP	Polypropylène
PTFE	Polytétrafluoroéthylène ou Teflon™
PVC	Polychlorure de vinyle
RDX	Triméthylènetrinitramine ou hexogène
SGH	Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques
TATP	Peroxyde d'acétone ou triperoxyde de tricycloacétone
TEA	Triéthylaluminium
TNT	Trinitrotoluène
TPA	Agent pyrophorique épaissi

13. GLOSSAIRE

Allumage. L'échauffement initial d'une composition explosive ou pyrotechnique déflagrante, par flamme ou autre source de chaleur, jusqu'à son point d'inflammation. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Amadou. Matériau qui réduit la température d'allumage d'un explosif déflagrant.

Booster. Engin explosif utilisé comme charge d'initiation pour amplifier l'énergie de la charge réceptrice. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Brisance. L'effet éclatant d'un explosif ou d'une explosion. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Catalyseur. En chimie, toute substance qui augmente la vitesse d'une réaction sans être elle-même consommée. (©2021 Encyclopædia Britannica, Inc.)

Charge. Une quantité d'explosif ensachée, enveloppée ou emballée sans son propre moyen d'amorçage. Des moyens d'amorçage secondaires peuvent être incorporés ou non. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Classe de risque. Le système de neuf catégories recommandé par l'ONU pour l'identification des marchandises dangereuses. La catégorie 1 identifie les explosifs. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Combustible. Une substance ou un composé riche en électrons qui agit dans un explosif comme agent réducteur chimique.

Combustion. Combinaison chimique rapide d'une substance avec de l'oxygène, impliquant la production de chaleur et de lumière. (Oxford English Dictionary, ©2021 Oxford University Press)

Composition éclair. Une composition pyrotechnique (mélange d'oxydant et de combustible (métallique)) dont la combustion rapide produit une flamme brillante et, sous confinement, produit un bruit fort.

Confinement. Les caractéristiques de l'enveloppe d'une charge, qui limitent l'expansion des produits de décomposition lorsque la substance explosive réagit. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Contamination. Impureté d'un explosif artisanal avec une ou plusieurs substances autres que celle(s) censée(s) faire partie de l'engin improvisé.

Cycle diurne. L'exposition des munitions et des explosifs aux changements de température induits par le jour, la nuit et le changement de saison. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Danger. Source potentielle de préjudice. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Décomposition. Réaction chimique d'une substance qui n'est ni une détonation ni une déflagration, entraînant un changement important de ses propriétés. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Déflagration. Réaction de la combustion à travers une substance à une vitesse subsonique dans la substance en réaction. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Densité de chargement. Ratio entre le poids d'un explosif et le volume d'espace dans lequel un explosif est déclenché (compacité).

Densité. Masse d'une unité de volume d'une substance de matière. (©2021 Encyclopædia Britannica, Inc.)

Déplacement sans risques. Une évaluation technique, par un technicien ou un agent technique dûment qualifié, de l'état physique et de la stabilité des munitions et explosifs avant tout déplacement proposé. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Détonateur. Un dispositif contenant un explosif (primaire) sensible destiné à produire une onde de détonation. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Détonation de bas ordre. Une détonation incomplète et relativement lente, étant plus une combustion qu'une explosion. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Détonation par influence. Mise à feu imprévue et accidentelle d'un explosif par une détonation à proximité, parfois appelée embrasement éclair.

Détonation. Réaction qui traverse une matière explosive à une vitesse supersonique dans la matière réactive. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Diamètre critique. Le diamètre minimum d'une charge explosive à partir duquel une détonation peut encore se produire. (Rudolf Meyer, Josef Köhler et Axel Homburg, Explosifs. Sixième édition. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007)

Engin explosif improvisé (EEI). Un dispositif placé ou fabriqué de façon improvisée et contenant des matières explosives, des matières destructrices, mortelles, nocives, incendiaires, pyrotechniques ou chimiques conçues pour détruire, défigurer, distraire ou harceler. Ils peuvent incorporer des fournitures militaires, mais sont normalement conçus à partir d'éléments non militaires. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Équivalence (TNT). Lorsque des explosifs ayant un effet nettement plus ou moins puissant que le TNT sont envisagés, un équivalent en TNT peut être utilisé pour déterminer la distance appropriée. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Explosif artisanal. Substance explosive fabriquée à partir d'une combinaison de produits disponibles dans le commerce (2014). (NILAM 04.10 Glossaire des termes et abréviations de l'action contre les mines, Deuxième édition (Amendement 10, Février 2019)

Explosif brisant. Substance ou mélange de substances pouvant subir une réaction de décomposition interne rapide conduisant à une détonation dans son utilisation normale. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021). Une substance ou un mélange de substances qui, dans leur application comme charge primaire, charge d'amorçage ou charge principale de munition, est nécessaire à la détonation. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Explosif déflagrant. Explosif déflagrant utilisé pour la propulsion. Voir propulseur (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Explosif primaire. Une substance explosive sensible aux étincelles, aux frottements, aux chocs ou aux flammes et capable de favoriser l'amorçage en l'état. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021) Un explosif extrêmement sensible aux stimuli tels que la chaleur, la friction et/ou les chocs et qui nécessite une attention particulière lors de sa manipulation. En général, les explosifs primaires sont synonymes d'explosifs d'amorçage. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Explosif secondaire. Une substance explosive nécessitant un puissant stimulus pour détoner.

Explosif. Une substance ou un mélange de substances qui, sous l'influence externe, est capable de libérer rapidement de l'énergie sous forme de gaz et de chaleur. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Explosion combustible-air. Elle se produit lorsque les vapeurs de combustible se mélangent à l'air atmosphérique ambiant et lorsque le mélange est terminé, est mis à feu par une source d'ignition.

Explosion de poussières. Le résultat de la combustion rapide des fines particules solides, comme les poussières organiques (sucre ou bois) et les poussières métalliques (aluminium et magnésium); les poussières à base de polymère et les poussières carbonées. (E. Salzano, Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, 2014)

Explosion. Libération soudaine d'énergie produisant un effet de souffle avec projection possible de fragments. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Flegmatisant. Une substance ajoutée à un explosif en vue d'améliorer la sécurité lors de la manutention et du transport.

Fusée. Un dispositif qui amorce une chaîne pyrotechnique. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Fusible. Un dispositif qui protège un circuit contre les dommages causés par un excès de courant dû à la fusion d'un élément fusible destiné à couper le circuit. Aussi utilisé pour les mèches à combustion, c'est-à-dire ces mèches qui n'utilisent pas la détonation pour amorcer la chaîne de mise à feu. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Gestion de risques. Ensemble du processus sur la prise de décision fondée sur les risques. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Granule. Une pastille ou un globule solide d'une substance formé par la solidification d'un liquide pendant un processus industriel.

Hygroscopique. Qui absorbe l'humidité de l'air.

Intensité. Déterminée par le volume de gaz produit et l'énergie (la chaleur) créée par l'explosion ainsi que la vitesse de détonation.

Marchandises dangereuses. Articles classés dans le système des Nations Unies (ONU) dans les catégories 1 à 9 conformément aux Règlements de l'ONU sur le transport des marchandises dangereuses (Livre orange). (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Mélanges homogènes. Un mélange ayant la même composition et les mêmes propriétés physiques et chimiques. Les mélanges homogènes comprennent au moins deux phases immiscibles. Leurs différents composants peuvent être présents dans différents états et/ou se composent de différentes substances.

Métaux alcalins⁶⁹. lithium, sodium, potassium, rubidium, césium et francium.

Mise à feu. Fait référence au point de départ d'une réaction de déflagration ou de détonation.

Munition incendiaire. Munition contenant une substance incendiaire, qui peut être solide, liquide ou sous forme de gel, y compris le phosphore blanc. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Oxydant. Une substance qui est combinée à un combustible pour produire une matière énergétique. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Point d'éclair (ou **point d'inflammabilité**). La température minimale à laquelle une substance volatile s'évapore pour former un mélange inflammable au contact de l'air en présence d'une source ignée et continue de brûler après qu'une source de déclenchement soit supprimée. (Joaquín Isac-García et al., Experimental Organic Chemistry, 2015)

Point sensible. Point dans un explosif où la compression adiabatique de petites bulles de gaz occluses génère une température pouvant atteindre 400°C à 500°C.

⁶⁹ Si aucune source n'est ajoutée, la définition est tirée de la présente publication.

Porosité. Le rapport entre le volume vide et le volume total d'une substance ou d'un mélange de substances.

Poudre noire. Mélange intime de nitrate de sodium ou de nitrate de potassium avec du charbon ou un autre carbone, avec ou sans soufre. (DTIM 01.40, Glossaire des termes, définitions et abréviations, 3ème édition, mars 2021)

Préjudice. Blessures physiques ou atteinte à la santé des personnes, ou dommages causés aux biens ou à l'environnement. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Procédures opérationnelles permanentes (POP). Procédures définissant la méthode privilégiée ou actuellement établie pour effectuer une tâche ou une activité opérationnelle. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Propergol. Explosif déflagrant utilisé pour la propulsion. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Pyrophorique. Une substance à l'instar du phosphore blanc, capable de s'enflammer spontanément lorsqu'elle est exposée à l'air. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Pyrotechnique. Un dispositif ou matériau qui peut être enflammé pour produire de la lumière, de la fumée ou du bruit. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Réactif. Substance participant à la réaction chimique.

Réaction hypergolique. L'inflammation spontanée de deux liquides mélangés.

Renforceur. Substance utilisée pour augmenter la sensibilité à l'allumage. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Sensibilité. Mesure de la probabilité relative qu'un explosif s'enflamme ou soit déclenché par un stimulus prescrit. Il est utilisé dans le contexte d'une inflammation ou d'un déclenchement accidentel. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Sensibilité. Mesure du stimulus nécessaire pour assurer la fiabilité de la fonction de mode de conception d'un explosif. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars)

Solution. En chimie, il s'agit d'un mélange homogène de deux substances ou plus en quantités relatives qui peut varier en continu jusqu'à ce que l'on appelle la limite de solubilité. (©2021 Encyclopædia Britannica, Inc.)

Souffle. Une vague destructive de gaz ou d'air produite dans l'atmosphère environnante par une explosion. L'explosion comprend une onde de choc, une pression élevée derrière l'onde de choc et une raréfaction à la suite de la pression élevée. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Stabilisateur. Une substance qui arrête ou réduit la décomposition auto-catalytique des explosifs. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Stabilité. Les caractéristiques physiques et chimiques des munitions et explosifs qui produisent un effet sur leur sécurité lors du stockage, du transport et de l'utilisation. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Sûr. Absence de risque. Normalement, le terme risque admissible est plus approprié et plus précis. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Transition de la déflagration à la détonation. La transition à la détonation après une réaction de combustion initiale. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

Vitesse de détonation. Vitesse à laquelle la détonation traverse la charge ou la colonne d'explosif en m/s. (DTIM 01.40, 3ème édition, mars 2021)

14. LISTE DES EXPLOSIFS ARTISANAUX ET SUBSTANCES CHIMIQUES

ACÉTONE [(CH₃)₂CO] OU CÉTOPROPANE, PROPANONE, DIMÉTHYLACÉTONE - p. 123

ACÉTYLURE D'ARGENT [Ag₂C₂] - p. 214

ACIDE ACÉTIQUE – ORGANIQUE [C₂H₄O₂] OU VINAIGRE (DILUÉ), ACÉTATE D'HYDROGÈNE - p. 53

ACIDE CHLORHYDRIQUE – INORGANIQUE [HCl] OU ACIDE MURIATIQUE - p. 55

ACIDE CITRIQUE – ORGANIQUE [C₆H₈O₇] OU SEL AIGRE, CITRON - p. 54

ACIDE NITRIQUE – INORGANIQUE [HNO₃] OU AQUA FORTIS, EAU FORTE, NITRATE D'HYDROGÈNE, ACIDE NITRIQUE FUMANT ROUGE (RFNA), ACIDE NITRIQUE BLANC - p. 58

ACIDE PERCHLORIQUE – INORGANIQUE [HClO₄] - p. 60

ACIDE PICRIQUE – ORGANIQUE [C₆H₃N₃O₇] OU 2,4,6-TRINITROPHÉNOL - p. 61

ACIDE SULFURIQUE – INORGANIQUE [H₂SO₄] OU HUILE DE VITRIOL - p. 62

ALUMINIUM [Al] - p. 113

AMMONIAC [NH₃] OU AZANE, ESPRIT DE CORNE DE CÉRIF - p. 89

AMMONIUM NITRATE-ALUMINIUM [ANAL] - p. 168

ANILINE [C₆H₅NH₂] OU AMINO BENZÈNE - p. 90

AUTRES MÉLANGES - p. 199

AZOTURE D'ARGENT [AgN₃] - p. 214

AZOTURE DE PLOMB [Pb(N₃)₂] - p. 211

AZOTURE DE SODIUM [NaN₃] OU AZIDE DE SODIUM, TRINITRURE DE SODIUM, SMITE - p. 215

BENZÈNE [C₆H₆] OU BENZOL - p. 91

BORE [B] - p. 104

CAFÉ (SUCROSE ET POLYSACCHARIDE) - p. 105

CARBONATE DE BARYUM [BaCO₃] - p. 80

CARBONATE DE POTASSIUM [K₂CO₃] OU POTASSE - p. 84

CARBURÉACTEUR OU Jet A-1, TS-1, JP-1, JP-5, JP-9, JP-10, DÉNOMINATION FAMILIÈRE : KÉROSÈNE - p. 98

CHARBON (JUSQU'À 90% DE CARBONE) - p. 105

CHLORATE DE BARYUM [Ba(ClO₃)₂] - p. 72

CHLORATE DE POTASSIUM-ALUMINIUM - p. 154

CHLORATE DE POTASSIUM-ALUMINIUM-SOUFRE - p. 154

CHLORATE DE POTASSIUM [KClO₃] - p. 73

CHLORATE DE POTASSIUM-NITROBENZÈNE OU « RACK-A-ROCK » - p. 154

CHLORATE DE POTASSIUM - p. 153

CHLORATE DE POTASSIUM-PARAFFINE (HUILE POUR BÉBÉ) OU VASELINE - p. 155

CHLORATE DE POTASSIUM-PHOSPHORE ROUGE - p. 156

CHLORATE DE POTASSIUM-SACCHAROSE/SUCRE - p. 157

CHLORATE DE SODIUM-ALUMINIUM - p. 158

CHLORATE DE SODIUM-KÉROSÈNE - p. 159

CHLORATE DE SODIUM [NaClO₃] - p. 75

CHLORATE DE SODIUM-NITROBENZÈNE - p. 159

CHLORATE DE SODIUM - p. 158

CHLORATE DE STRONTIUM [Sr(ClO₃)₂] - p. 76

CHLORURE DE POTASSIUM [KCl] OU SYLVITE, NOSALT - p. 140

CHLORURE TÉTRAMINE DE CUIVRE (II) [Cu(NH₃)₄(ClO₃)₂] OU CUIVRE DE CHERTIER, TACC - p. 215

COTON [C₆H₁₀O₅] - p. 126

DEXTRINE [(C₆H₁₀O₅)_n] - p. 106

DINITRATE D'ÉTHYLÈNE GLYCOL [C₂H₄N₂O₆] OU NITROGLYCOL, EGDN - p. 191

DINITROBENZÈNE DIAZOXIDE [C₆H₂N₄O₆] OU DIAZODINITROPHÉNOL, DINOL®, DDNP - p. 210

ÉLECTRON [Mg/Al] - p. 114

ÉRYTHRITOL [C₄H₁₀O₄] OU PHYCITOL, PHYCITE, (APPELLATIONS COMMERCIALES VARIÉES) - p. 127

ÉTHANOL [C₂H₅OH] OU ALCOOL ÉTHYLIQUE - p. 93

ÉTHYLÈNE DIAMINE [C₂H₈N₂] - p. 94

ÉTHYLÈNE GLYCOL [C₂H₆O₂] OU ALCOOL DE GLYCOL, ANTIGEL - p. 128

FIOWL [75% C₁₀H₂₀ - C₁₅H₂₈ ET 25% D'HYDROCARBURES AROMATIQUES] COMME LE MAZOUT, LE DIESEL - p. 95

FORMALDÉHYDE [CH₂O] OU MÉTHANAL - p. 129

FULMINATE DE MERCURE (II) [Hg(CNO)₂] OU CYANATE DE MERCURE, DIFULMINATE DE MERCURE - p. 213

GELÉE DE PÉTROLE [PRIMAIRE C₁₅H₁₅N] OU VASELINE® (MARQUE UNILEVER) - p. 102

GELS COMBUSTIBLES INFLAMMABLES - p. 199

GLYCÉRINE [C₃H₈O₃] OU GLYCÉROL, ALCOOL GLYCYLE, GLYCOL - p.96

HEXACHLOROÉTHANE [C₂Cl₆] OU PERCHLORÉTHANE, HEXACHLORURE DE CARBONE - p.130

HEXAMINE [C₆H₁₂N₄] OU ESBIT, PASTILLES DE CARBURANT, HEXAMÉTHYLÈNETÉTAMINE, UROTROPINE - p.131

HEXANE [C₆H₁₄] OU ESANI, SKELLYSOLVE B - p.97

HYDRAZINECARBOXIMIDAMIDE [CH₆N₄] OU AMINOQUANIDINE, PIMAGEDINE, GUANYL HYDRAZINE - p.132

HYDROXYDE DE SODIUM [NaOH] OU SOUDE CAUSTIQUE, LESSIVE DE SOUDE, ASCARITE, CAUSTIQUE BLANCHE, HYDRATE DE SODIUM - p.141

HYPOCHLORITE DE CALCIUM [Ca(ClO)₂] OU C8 - p.82

HYPOCHLORITE DE SODIUM [NaClO] - p.142

IODE [I₂] - p.133

LIQUIDE DE FREIN - p.92

MAGNALIUM [Al/Mg] - p.114

MAGNÉSIUM [Mg] - p.115

MERCURE [Hg] - p.134

MÉTHANOL [CHOH] OU ALCOOL DE BOIS, CARBINOL, ALCOOL À BRÛLER, ALCOOL COLONIAL, ALCOOL MÉTHYLIQUE - p.136

MÉTHYLÉTHYLÉTONE (MEK) [C₄H₈O] OU BUTANONE - p.99

NAPHTALÈNE [C₁₀H₈] OU CAMPHRE DE GOUDRON - p.107

NITRATE D'AMMONIUM ET DE CALCIUM - p.175

NITRATE D'AMMONIUM-FIOUL [ANFO OU ANC] - p.169

NITRATE D'AMMONIUM [NH₄NO₃] - p.64

NITRATE D'AMMONIUM-NITROBENZÈNE [ANNIE] - p.170

NITRATE D'AMMONIUM-NITROMÉTHANE-ALUMINIUM [ANMAL] - p.171

NITRATE D'AMMONIUM-NITROMÉTHANE [ANNM] - p.171

NITRATE D'AMMONIUM-POUDRE DE CARBONE - p.173

NITRATE D'AMMONIUM-POUDRE DE MAGNÉSIUM - p.173

NITRATE D'AMMONIUM-SCIURE - p.173

NITRATE D'AMMONIUM-SUCRE [ANS/-SUCRE GLACE, ANIS] - p.172

NITRATE D'AMMONIUM-TNT [AMATOL] - p.174

NITRATE D'AMMONIUM-URÉE - p.174

NITRATE D'ARGENT [AgNO₃] - p.69

NITRATE DE BARYUM [Ba(NO₃)₂] - p.66

NITRATE DE MÉTHYLE - p.176

NITRATE DE PLOMB (II) [Pb(NO₃)₂] - p.67

NITRATE DE POTASSIUM [KNO₃] OU SALPÊTRE, NITRATE DE POTASSE - p.68

NITRATE DE SODIUM [NaNO₃] OU SOUDE - p.70

NITRATE DE STRONTIUM [Sr(NO₃)₂] - p.71

NITRATE D'URÉE-ALUMINIUM - p.178

NITRATE D'URÉE-CHARBON - p.178

NITRATE D'URÉE-FIOUL - p.178

NITRATE D'URÉE-MAGNÉSIUM - p.179

NITRATE D'URÉE-NITROBENZÈNE - p.179

NITRATE D'URÉE-NITROMÉTHANE - p.179

NITRATE D'URÉE - p.177

NITRATE D'URÉE-SCIURE - p.180

NITRATE D'URÉE-SUCRE - p.180

NITRATE D'URÉE-TNT - p.180

NITRATE D'URÉE-URÉE - p.181

NITROBENZÈNE [C₆H₅NO₂] OU NITROBENZOL, BENZÈNE, ESSENCE DE MIRBANE - p.100

Nitrocellulose [(C₆H₇(NO₂)₃O₅)_n] OU FULMICOTON, NITRATE DE CELLULOSE, PYROXYLE - p.137

Nitrocellulose [C₆H₉(NO₂)₃O₅] OU PAPIER FLASH, FULMICOTON, FIL FLASH, FULMICOTON, COLLODION - p.193

NITROGLYCÉRINE [C₃H₅N₃O₉] OU NG - p.190

NITROMÉTHANE [CH₃NO₂] - p.101

NITROSTARCH [(C₆H₇O₂(ONO₂)₃)_n] OU XYLOÏDINE - p.194

OXYDE DE FER (III) [Fe₂O₃] OU OCRE - p.83

PARAFFINE [C_nH_{2n+2}] OU CIRE, HUILE POUR BÉBÉ - p.108

PERCHLORATE D'AMMONIUM-ALUMINIUM - p.160

PERCHLORATE D'AMMONIUM [NH₄ClO₄] - p.77

PERCHLORATE D'AMMONIUM - p.160

PERCHLORATE D'AMMONIUM-SAVON - p.161

PERCHLORATE DE POTASSIUM [KClO₄] - p.78

PERCHLORATE DE SODIUM [NaClO₄] - p.79

PERMANGANATE DE POTASSIUM [KMnO₄] - p.85

PEROXYDE DE BARYUM [BaO₂] OU SUPEROXYDE DE BARYUM - p.81

PEROXYDE D'HYDROGÈNE - INORGANIQUE [H₂O₂] - p.56

PHÉNOL [C₆H₅OH] - p.139

PHOSPHORE BLANC OU JAUNE - p.118

PHOSPHORE [P] - PHOSPHORE BLANC ET PHOSPHORE ROUGE - p.118

PHOSPHORE ROUGE - p.120

PLX (ABRÉVIATION DE PICATINNY LIQUID EXPLOSIVE) OU MYROL - *p. 189*

SACCHAROSE [C₁₂H₂₂O₁₁] OU SUCRE - *p. 111*

SCIURE - *p. 109*

SODIUM [Na] - *p. 116*

SORBITOL [C₆H₁₄O₆] OU GLUCITOL, D-SORBIT - *p. 110*

SOUFRE [S] OU BRIMSTONE - *p. 121*

STYPHNATE DE PLOMB [C₆H₃N₃O₈Pb] OU TRICINAT, KNALLQUEECKSILBER - *p. 212*

SULFATE D'ALUMINIUM [Al₂(SO₄)₃] - *p. 103*

SULFATE D'AMMONIUM [(NH₄)₂SO₄] - *p. 104*

SULFATE DE CUIVRE (II) [CuSO₄] OU SULFATE CUIVRIQUE - *p. 125*

SULFATE DE SODIUM [Na₂SO₄] - *p. 86*

TÉTRACHLOROÉTHYLÈNE [C₂Cl₄] OU PERC, PERCHLOROÉTHYLÈNE, TETRALEX®, TETLEN - *p. 143*

TÉTRACHLORURE DE CARBONE [CCl₄] OU TÉTRACHLORMÉTHANE, BENZIFORM, TETRAFORM - *p. 124*

TÉTRANITRATE DE PENTAÉRYTHRITOL [C₅H₈N₄O₁₂] OU NITROPENTA, PETN - *p. 192*

TÉTRANITRATE D'ÉRYTHRITOL [C₄H₆N₄O₁₂] OU ETN - *p. 192*

TÉTRAZÈNE [C₂H₈N₁₀O] OU 1-TÉTRACÈNE - *p. 215*

THERMITE - *p. 198*

TRIÉTHYLALUMINIUM [C₆H₁₅Al] OU TEA - *p. 199*

TRIIODURE D'AZOTE [NI₃] - *p. 213*

URÉE [CO(NH₂)₂] - *p. 144*

ZINC [Zn] - *p. 117*

15. BIBLIOGRAPHIE

- Akhavan, Jacqueline. *The Chemistry of Explosives*, England: RSC Publishing, 2004.
- APG (Aberdeen Proving Ground). *Allied and Enemy Explosives*, Maryland, USA, 1946.
- Baker, W.E. and M.J. Tang. *Gas, Dust and Hybrid Explosions*, Elsevier Science, 1991.
- Bernhard, Klaus, Dr., Peter Stadler and Franz Schörghuber, eds. *Guide for the Safe Handling of Aluminium and Magnesium (Leitfaden für einen sicheren Umgang mit Aluminium und Magnesium)*, prepared by the Department of Environmental Protection/Waste Management, State Government Office of Upper Austria, 2001.
- Beutler, Hans-Peter, Harold Bouchex-Bellomie, Andreas Buchmann, Stephan Bürki, Raymond Dumont, Werner Friedli, Bruno Hertzog, et al. *Storage of Hazardous Substances - Practical Guide (Lagerung gefährlicher Stoffe, Leitfaden für die Praxis)*, Frauenfeld: Environmental Departments of the cantons of Nordschweiz, Thurgau and Zürich, as well as GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich, 3rd Revised Edition, 2018.
- Brochu, Sylvie. "Assessment of ANFO on the environment – Technical Investigation 09-01". Defence R&D Canada – Valcartier Technical Memorandum, Janvier 2010.
- Collett, G.P. *Home-Made Explosives, A Comprehensive Guide*, UK Ministry of Defence, 2020.
- Conkling, J.A. *Chemistry of Pyrotechnics*, New York, USA: Marcel Dekker, Inc., 1985.
- Danilov, J.N., M.A. Ilyusin and I.V. Tselinskii. *Development of Components for High-energy Compositions*, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii institut, Saint Petersburg, 2001.
- Davis, Tenney L. *The Chemistry of Powder and Explosives*, New York, USA: John Wiley & Sons, 1956.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), "Chemical Advisory: Safe Storage, Handling and Management of Ammonium Nitrate," Août 2013.
- Fedoroff, Basil, T., Henry A. Aaronson, Earl F. Reese, Oliver E. Sheffield and George D. Clift. *Encyclopedia of Explosives and Related Items*, Vols 1–10, New Jersey, USA: U.S. Army Research and Development Command TACOM, ARDEC, Warheads, Energetics and Combat Support Center, Picatinny Arsenal, 1960.
- Field, John E. "Hot Spot Ignition Mechanisms for Explosives," *Acc. Chem. Res.* Issue 1 (1 November 1992): 489–496.
- Fileti, Eudes Eterno, Vitaly V. Chaban, Oleg V. Prezhdo, "Exploding Nitromethane in Silico, in Real Time", *Journal of Physical Chemistry Letters* 5(19), (2014): 3415–3420.
- Hummig, Wolf I. *Textbook for the State Recognised Special Course Pyrotechnics (Lehrbuch Zum Staatlich Anerkannten Sonderlehrgang Pyrotechnik)*, 3rd Edition. Peißenberg, Germany: Hummig Effects, 2009.
- Ilyushin, M.A., I.V. Tselinskii and A.M. Sudarikov, *Industrial explosives Part 1. Initiating explosives*, SPB:LGU im. A.S. Pushkina – SPBGTI(TU), Saint Petersburg 2006.
- Kosanke, Kenneth L. and Bonnie J. Kosanke. "Pyrotechnic Spark Generation", *Selected Pyrotechnic Publications of K.L. and B.J. Kosanke, Part 4 (1999)*: 49–62.
- Laska, Paul R. *Bombs, IEDs and Explosives*, CRC Press (Taylor & Francis Group), 2015.

Laurence, Edgar A. Stabilized explosive containing nitromethane and amine. US Patent 3239395A filed July 18, 1945 and issued March 8, 1966.

Lewis, R.J.Sr., ed. *Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials*. 11th Edition. Hoboken, NJ., USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

Medard, Louis, A. *Explosions accidentelles, Volume 2: Types de substances explosives*, New York: John Wiley & Sons, 1989.

Meyer, Rudolf, Josef Köhler et Axel Homburg. *Explosifs. Sixième édition, Weinheim, Allemagne*: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.

Meyer, Rudolf, Josef Köhler et Axel Homburg. *Explosifs. Dixième édition, Weinheim, Allemagne*: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.

NFPA (National Fire Protection Association). *Fire Protection Guide to Hazardous Materials*, 6th Edition, Boston, Mass., USA: The Association, 1975.

OSCE (Organisation pour la sécurité et la coopération en Europe), Aperçu relatif à l'élimination du propergol liquide dans l'espace de l'OSCE, 2008.

Reed, Howard H. "Explosive Evaluation: Gelled Nitromethane and Slurry as Military Bulk Explosive Systems," Final Report, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. USA, 1976.

Schumacher, Joseph C., ed. *Perchlorates: Their Properties, Manufacture and Uses*, New York, USA: Reinhold Publishing Corporation, 1960.

Sivapirakasam, S.P. and M. Surianarayanan. "Experimental investigation of mechanical sensitivity and noise level for different pyrotechnic flash compositions," *Science and Technology of Energetic materials*, 70(5) (2009): 140–144.

ONU, Normes des Nations Unies en matière d'élimination des engins explosifs improvisés Nations, Mai 2018.

Service des Nations Unies pour la lutte antimines. Lexique relative aux engins explosifs improvisés, New York, USA.

Urbanski, Tadeus. *Chemistry and Technology of Explosives Vols 1, 2, 3, 4*, UK: Pergamon Press, 1964.

Urban, Peter and Leslie Bretherick, ed. *Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards*. 6th Edition, Vol. 1, Butterworth-Heinemann, 1999.

Urban, Peter and Leslie Bretherick, ed. *Bretherick's Handbook of Reactive Chemical Hazards*. 6th Edition, Vol. 2, Butterworth-Heinemann, 1999.

U.S. Department of Defense – Defense Threat Reduction Agency. *Homemade Explosives*. Joint Improvised-Threat Defeat Organization, 2012.

VEB Fachbuchverlag. *Chemistry – Reference Work for Basic Subjects (Chemie – Nachschlagewerk für Grundlagenfächer)* (divers auteurs), Leipzig, Allemagne, 6ème édition, 1969.

16. AUTRES RÉFÉRENCES

ChemEurope Encyclopaedia of Chemistry:

<https://www.chemeuropa.com/en/encyclopedia/>

CRC Press handbook of chemistry and physics:

<http://hbcponline.com/faces/contents/ContentsSearch.xhtml>

GlobalSecurity.org:

<https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/explosives-anfo.htm>

Site web sur les DTIM :

<https://unsafeguard.org/>

Service d'information sur les substances dangereuses de l'association allemande d'assurance sociale accidents:

<https://www.dguv.de/ifa/gestis/index-2.jsp>

Lexique – Thieme (Allemand):

<https://roempp.thieme.de/>

Science Direct – Collection d'ouvrages de référence en ligne :

<https://www.sciencedirect.com/referencework/9780124095472/chemistry-molecular-sciences-and-chemical-engineering>

U.S. National Library of Medicine – ChemIDplus:

<https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/chemidlite.jsp>

U.S. National Library of Medicine – PubChem:

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/x>

U.S. National Library of Medicine – PubMed:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>



Centre international de déminage humanitaire de Genève (GICHD)

Maison de la paix, Tower 3, Chemin Eugène-Rigot 2C

PO Box 1300, CH – 1211 Genève 1, Suisse

info@gichd.org

gichd.org

