# GUIDE DES MEILLEURES PRATIQUES DE L'OSCE CONCERNANT LA DESTRUCTION DES MUNITIONS CONVENTIONNELLES

# TABLE DES MATIÈRES


I. INTRODUCTION 155
1. Objectif 155
2. Domaines couverts 155
3 Procédé général pour les activités de démilitarisation 155
4. Impact sur l'environnement 157
5. Économie de la démilitarisation 157
6. Suivi du processus de démilitarisation 157
7. Processus de destruction 157

II. ENFOUISSEMENT DES MUNITIONS 158
1. Immersion en mer 158
2. Enfouissement en décharge 158

III. BRÛLAGE/EXPLOSION À L'AIR LIBRE 159
1. Explosion à l'air libre 159
2. Brûlage à l'air libre 160

IV. COMBUSTION CONFINÉE 161
1. Four rotatif 161
2. Incinérateur à lit fluidisé 162
3. Four à chariot 162
4. Installation de décontamination par flux de gaz chaud 163
5. Chambre d'explosion confinée ou contrôlée 163

V. TECHNIQUES ADDITIONNELLES DE NEUTRALISATION DES MUNITIONS 164
1. Assemblage inverse 164
2. Démontage mécanique 165
3. Cryofracture 166

VI. TECHNIQUES DE SÉPARATION 166
1. Techniques de fusion 166
2. Lavage par jet d'eau 167
3. Lavage au solvant 168

VII. TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES DE CONVERSION 169
1. Oxydation à l'eau supercritique 169
2. Pyrolyse par arc plasma 169
3. Oxydation électrochimique 169
4. Dégradation biologique 170

VIII. DISCUSSION 171

IX. CONCLUSIONS 173

X. LISTE DES ABRÉVIATIONS 173

XI. RÉFÉRENCES 174


Le présent Guide a été établi par le Gouvernement des Pays-Bas.


FSC.DEL/59/08/Rev.1

2 juin 2008

# I. Introduction

Comme l'indique le *Document de l'OSCE sur les stocks de munitions conventionnelles FSC.DOC/1/03 du 19 novembre 2003*, la présence de munitions constitue toujours certains risques pour la sécurité humaine. La solution définitive à ce problème consiste à détruire toutes les munitions en excédent. Le présent document passe en revue les méthodes qui permettent le mieux de détruire les munitions conventionnelles.

## 1. Objectif

L'objectif du présent guide de meilleures pratiques est de donner des directives pour une destruction effective des munitions en excédent qui subsistent, par exemple, après les conflits, ou qui sont identifiées après la restructuration des forces armées lors de la réforme de la défense. Il y a lieu d'espérer que ce guide contribuera à l'élaboration et à l'application de normes communes élevées dans ce domaine et les facilitera. En ce qui concerne la recommandation, la planification et la conduite de projets de destruction spécifiques, de nouvelles directives détaillées devront être élaborées dans le cadre des réglementations et des procédures nationales. Ces nouvelles directives pourraient tenir compte des meilleures pratiques existantes.

## 2. Domaines couverts

Le présent guide des meilleures pratiques se limite à la destruction des munitions conventionnelles. Il ne traite ni de la neutralisation des armes nucléaires ni des armes chimiques et biologiques ; quelques mentions sont cependant faites des munitions chimiques. Sont également exclues de ce document la destruction des engins non explosés (UXO) et la dépollution du site.

Les techniques de destruction physique disponibles vont des techniques relativement simples comme les opérations de brûlage ou d'explosion à l'air libre, à des processus industriels très sophistiqués.

Ce document passe en revue les avantages et les inconvénients de chaque procédé.

Les techniques de destruction appropriées pour un domaine précis dépendront principalement :

i) des ressources disponibles dans ce domaine,
ii) des conditions physiques des stocks, à savoir de la possibilité de transporter les munitions,
iii) de la quantité de munitions et d'explosifs, à savoir de la possibilité de réaliser des économies d'échelle,
iv) des capacités nationales, et
v) de la législation nationale dans le domaine de la sécurité des explosifs, et de l'environnement.

D'une manière générale, plus le nombre de munitions à détruire est important, plus les économies d'échelle seront grandes et donc plus large sera l'éventail de technologies rentables et efficaces.

## 3. Procédé général pour les activités de démilitarisation

Le processus d'élaboration d'un plan en vue d'un projet de démilitarisation commence par la munition et exige des réponses aux questions fondamentales ci-après :

### *3.1 Peut-on transporter la munition en toute sécurité ?*

Dans la négative, la munition ne se prête pas à une démilitarisation autre qu'à une démolition contrôlée « sur le site ».

### *3.2 La munition peut-elle être transportée internationalement conformément aux Recommandations des Nations Unies relatives au transport des matières dangereuses-règlement-type, et aux prescriptions associées concernant le transport intermodal, tels que le Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID), l'Accord européen relatif au transport international des matières dangereuses par rail (ADR), et le Code international du transport maritime des marchandises dangereuses (IMDG) ?*

Pour répondre aux exigences fondamentales des mouvements internationaux transfrontières, les munitions doivent avoir été classées en tant que marchandises dangereuses de la classe 1 et correspondre au modèle d'emballage type testé (type-tested) conformément aux prescriptions des Nations Unies. Ce procédé long et potentiellement onéreux ne s'emploie d'ordinaire que pour des quantités importantes de munitions [1].

### *3.3 Quelles sont les incidences du transport sur les coûts?*

Pour les besoins de budgétisation, tout transport transfrontière devrait être évalué entre 30 % à 40 % du coût total prévu de la démilitarisation.

### *3.4 Quelles sont les quantités de munitions disponibles, par désignation spécifique ?*

Le nombre de munitions à démilitariser est un facteur décisif lorsque les contraintes budgétaires sont très importantes. À moins que l'Organisation ait accès à une installation de démilitarisation où l'infrastructure requise, les outils et le personnel compétent sont déjà en place, le coût unitaire par munition sera disproportionnellement élevé. Cette question doit donc être examinée en tenant compte de la réponse au paragraphe 3.2.

### *3.5 Dispose-t-on d'informations techniques suffisantes?*

L'exemple ci-après illustre au mieux l'importance de cette exigence. Un projet de démilitarisation inclut des projectiles à haute charge explosive. Il existe diverses options pour démilitariser ces projectiles. L'option préférée consiste à faire fondre la charge explosive au moyen d'eau chaude (au dessus de 81° C) pour la réutiliser ultérieurement dans la production d'explosifs commerciaux. C'est la meilleure option de réutilisation et de recyclage, et elle a un impact minimum sur l'environnement. Toutefois, ce procédé n'est pas si simple. Seules les charges explosives de TNT (trinitrotoluène) ont un point de fusion bas. On utilise aussi communément le RDX (cyclotriméthylènetrinitramine) qui ne peut fondre à une température inférieure à 205,5° C. Dans le même temps, le RDX, la cire et l'aluminium sont ajoutés au TNT à des fins opérationnelles. Le point de fusion de ce mélange est bas et il est relativement simple de remplir le projectile en versant le liquide en fusion. On peut fondre et enlever ce mélange mais cela représente un danger potentiel important pour tout RDX recristallisé. L'ajout de poudre fine d'aluminium complique le problème. Ces informations techniques sont capitales pour identifier la technique de démilitarisation la plus adaptée. Dans l'exemple susmentionné, si l'on ne dispose d'aucune information sur la charge explosive, il est impossible de savoir quel est le meilleur processus de démilitarisation et l'on risque de choisir un procédé potentiellement dangereux.

### *3.6 Le travail sera-t-il attribué à l'issue d'une procédure d'appel d'offres ou attribué à titre exclusif ?*

Dans le dernier cas, il peut être exigé de procéder à une évaluation indépendante du coût.

#### *3.7 Existe-t-il des contraintes de temps ?*

Il peut y avoir des contraintes temporelles sur le plan opérationnel, logistique ou financier qui risquent aussi d'avoir un impact sur le calendrier de la budgétisation et de l'exécution du financement du projet.

#### *3.8 Quelles peuvent être les incidences sur la sécurité ?*

Compte tenu de l'augmentation croissante de munitions téléguidées avec précision et de systèmes de guidage électronique, il se peut que les munitions contiennent des données électroniques intégrées confidentielles. Ces composants doivent faire l'objet d'un traitement spécial et leur destruction devra être vérifiée.

#### *3.9 Existe-t-il des contraintes environnementales ?*

Le but de toute neutralisation des munitions devrait consister à réduire voire à éliminer tout impact négatif sur l'environnement. Ces buts sont toutefois onéreux à concrétiser et ne sauraient se justifier, ou même être possibles, pour de petites quantités.

#### *3.10 Existe-t-il des restrictions à recycler les matières récupérées ?*

Il se peut que la législation nationale interdise ou limite la réutilisation et la reformulation des matières récupérées, notamment des explosifs et des poudres propulsives.

## 4. Impact sur l'environnement

Bien qu'il n'existe pas de procédures complètement sûres sur le plan écologique pour détruire les munitions et les explosifs, chaque fois cela est possible, des mesures devraient être prises pour réduire l'impact dans l'atmosphère, sur terre et dans l'eau. La lutte contre la pollution doit toujours être prise en compte dans la planification des opérations de destruction. La collecte de la ferraille et des résidus aiderait à réduire l'impact sur l'environnement [2]. Il faut prendre en considération la législation environnementale locale spécifique.

## 5. Économie de la démilitarisation

La comparaison des coûts des différentes méthodes de démilitarisation est difficile et peut être une source de confusion, compte tenu des nombreuses variables, tels le transport, les dépenses d'équipement, le travail, l'énergie, la neutralisation des déchets et la valeur des matières recyclables.

## 6. Suivi du processus de démilitarisation

Il faut que les activités de démilitarisation fassent l'objet d'un contrôle et d'une vérification tout au long du projet afin de s'assurer de la bonne exécution des travaux conformément au calendrier fixé et de la conservation des enregistrements appropriés et précis. Lorsque des paiements ponctuels sont effectués pour des produits finis, les certificats de neutralisation associés devraient être contresignés par l'organe d'accréditation. L'ampleur et la complexité du projet déterminent d'ordinaire l'étendue et la fréquence de la validation. Lors de l'exécution de projets de longue durée sur une large échelle, il n'est pas rare qu'une présence soit chargée d'une vérification permanente sur le site.

## 7. Processus de destruction

Le présent document utilise la terminologie de classification des munitions telle que définie dans le document de référence susmentionné de l'OSCE. Dans ces documents, la classification est la suivante :

i) Munitions pour les armes légères et de petit calibre (ALPC)
ii) Munitions pour les systèmes d'armes et équipements d'importance majeure, notamment les missiles
iii) Roquettes
iv) Mines terrestres et autres types de mines
v) Autres munitions, explosifs et artifices conventionnels

Le choix de la technologie la plus appropriée pour la destruction des munitions dépendra également de la quantité de munitions à détruire et des technologies disponibles sur place.

Le présent manuel présente un aperçu général des technologies les plus couramment utilisées. Commençant par l'immersion des munitions (chapitre II), ce livre décrit l'historique, des technologies utilisées. Le chapitre III porte sur le brûlage et l'explosion à l'air libre (OBOD) et le chapitre IV sur le brûlage et l'explosion des munitions en four confiné. Le chapitre V passe en revue les technologies d'ingénierie inverse, tandis que le chapitre VI examine la séparation des parties métalliques et des explosifs. Le manuel porte principalement sur la destruction des munitions, mais le chapitre VI aborde aussi la question de la réutilisation et du recyclage des matières et examine dans quelle mesure ils peuvent constituer un facteur important.

Le chapitre VII porte tout particulièrement sur les technologies de neutralisation des produits chimiques qui entrent dans la composition des munitions et risquent de poser des problèmes au cours du processus d'incinération.

Les conditions propices à l'emploi de ces différentes technologies sont examinées au chapitre VIII, et les méthodes de meilleures pratiques sont énumérées dans un tableau. Enfin, le chapitre IX résume les conclusions principales de toutes les technologies qui peuvent être employées pour la destruction des munitions.

# II. Enfouissement des munitions

## 1. Immersion en mer

L'immersion des munitions est interdite par la loi dans les pays qui ont ratifié les divers accords et conventions (Convention de Londres de 1972 et Protocole de 1996 [3], Convention OSPAR du 22 septembre 1994, [4]). La plupart des pays d'Europe occidentale en sont signataires.

En outre, l'immersion peut aboutir à des situations indésirables et les gouvernements ne sont alors plus en mesure de contrôler les munitions.

## 2. Enfouissement en décharge

Lorsque les munitions sont enfouies dans des lacs ou des décharges, les produits chimiques toxiques qui se dégagent des munitions risquent de contaminer pendant longtemps et de manière imprévisible l'environnement. Un grand nombre des composants utilisés dans les munitions sont nocifs pour l'environnement. Ils comportent des métaux lourds (par exemple, le plomb, l'antimoine, le zinc, le cuivre), des explosifs (par exemple, 2.4.6 trinitrotoluène (TNT), nitroglycérine (NG) et RDX) ainsi que des composants libérés par les poudres propulsives – par exemple, dinitrotoluène (DNT), diphénylamine (DPA) et dibutyl de phtalate (DBP). Les composants pyrotechniques tels que les sels d'hexachloroéthane et de baryum/strontium dans les traceurs et munitions éclairantes sont également nocifs pour l'environnement.

En raison de la migration incontrôlée des produits chimiques toxiques libérés par les munitions immergées, principalement dans la nappe phréatique, de vastes zones seront contaminées, notamment en ce qui concerne l'approvisionnement en eau potable des personnes vivant dans ces zones.

# III. Brûlage/explosion à l'air libre

## 1. Explosion à l'air libre

On utilise toujours la destruction de munitions par explosion à l'air libre (OD) et brûlage à l'air libre (OB), connue sous le nom d'OBOD.

Lors d'une explosion à l'air libre, les munitions sont regroupées et détruites par explosion, en utilisant les charges explosives aptes au service. Ce procédé s'obtient par explosion de charges de démolition en contact étroit avec les pièces de munitions et ne convient donc qu'aux munitions à haut pouvoir explosif.

Figure 3.1 : Obus d'artillerie et mines antichars prêts à être détruits.

L'onde de choc de l'explosion générée par les charges d'amorçage fait exploser les munitions. L'explosion à l'air libre présente l'avantage de détruire efficacement de grandes quantités de munitions. Le site de destruction doit être assez vaste pour s'assurer que les effets du souffle, du bruit et de la fragmentation se limiteront au site. D'une manière générale, la majorité des emplacements situés hors des zones de combat sont très limités. L'explosion à l'air libre permet aussi de détruire des munitions sans avoir besoin d'équipements spéciaux. L'explosion à l'air libre présente les inconvénients suivants :

- risque de pollution incontrôlée du sol, de la nappe phréatique et de l'atmosphère [5]
- risques générés par l'onde de choc et les fragments
- possibilité que les munitions ne soient pas toutes correctement détruites, et que les engins non explosés se retrouvent dans la zone immédiate
- la quantité de munitions détruites est fonction de la durée du jour en lumière naturelle et des conditions météorologiques.

Pour prévenir la migration incontrôlée de toute pollution potentielle, l'explosion à l'air libre doit s'effectuer de préférence dans des lieux où les polluants ne risquent pas de se déverser dans les nappes phréatiques.

L'onde de choc et les fragments peuvent être réduits en limitant la quantité totale à exploser en une seule fois ou en assurant une protection adéquate de l'emplacement. Ces mesures additionnelles de sécurité dépendront des risques pour l'infrastructure aux alentours.

Du fait de la pollution incontrôlée, l'explosion à l'air libre de grandes quantités de munitions est interdite dans la majorité des pays d'Europe occidentale.

Lors de l'explosion à l'air libre, le personnel chargé de la neutralisation des explosifs et des munitions devrait porter un équipement adéquat de protection contre l'exposition aux polluants [6]. Cet équipement devrait comporter des vêtements simples de protection de la peau et des voies respiratoires, des gants et des maques antipoussières.

## 2. Brûlage à l'air libre

Le brûlage à l'air libre est principalement utilisé pour la destruction des poudres propulsives et des composants pyrotechniques excédentaires (en vrac). Cette technique permet également de détruire des explosifs non confinés mais en petites quantités car l'explosion des explosifs et des poudres propulsives peut se transformer en déflagration.

Figure 3.2 : Sacs remplis de poudre propulsive prête à brûler à l'air libre

Le brûlage à l'air libre de munitions contenant des fumées, des éléments éclairants et des colorants ou des agents irritants est interdit aux États-Unis ainsi que dans de nombreux autres pays à cause de leur teneur élevée en produits dangereux qui se forment au cours du brûlage à l'air libre [7].

Le brûlage à l'air libre s'effectue généralement sur des ouvrages de conception technique, comme des surfaces bétonnées ou des cuves métalliques afin d'éviter le contact avec la surface du sol et l'infiltration de la nappe phréatique. Les cuves destinées au brûlage à l'air libre doivent être dans un matériau capable de résister au processus de combustion, avoir une profondeur et une taille suffisamment grandes pour contenir les résidus du traitement. On peut surélever légèrement les cuves au-dessus du sol pour obtenir un meilleur refroidissement et permettre l'inspection des fuites. Les cuves doivent être couvertes lorsqu'on ne les utilise pas [8].

En conclusion, on peut affirmer que le brûlage et l'explosion à l'air libre devraient être limités à des emplacements qui ne présentent pas de risque d'infiltration de la nappe phréatique. Si un tel risque existe, il faut obligatoirement utiliser des constructions étanches, par exemple des cuves en béton ou en métal. Le personnel chargé de la destruction devrait être équipé de moyens de protection appropriés, par exemple de vêtements de protection (jetables) et d'une protection des voies respiratoires.

# IV. Combustion confinée

## 1. Four rotatif

Le four rotatif se caractérise par la destruction thermique contrôlée des munitions et des explosifs au cours d'une période de temps prédéterminée, ainsi que par le traitement des émanations de gaz.

Le type de four le plus couramment utilisé pour la destruction des munitions est le four à type rotatif.

Figure 4.1 : Vue extérieure d'un four rotatif (reproduction avec l'aimable autorisation de NAMSA)

Les munitions arrivent par une trémie d'alimentation (à gauche) qui règle (depuis une salle extérieure) la quantité de munitions par unité de temps à introduire dans le four. Le respect de ces règles de sécurité est important pour empêcher des concentrations trop élevées de munitions dans le four. Les munitions réagissent à la température élevée dans le four, obtenue par les brûleurs à l'extrémité du four. On peut chauffer ces brûleurs avec du gaz ou de l'huile. L'incinérateur à four rotatif est un tambour cylindrique d'acier rotatif avec une vis d'Archimède tournant en permanence. Sous l'effet de la vitesse de rotation contrôlée, les munitions sont mises en mouvement dans le tambour chauffé. Comme les divers types de munitions exigent un temps différent de séjour, il faut ajuster la vitesse de rotation du four. La combustion des explosifs intervient à différents moments de séjour. Les produits de la réaction se mélangent avec l'air en excédent et brûlent complètement dans la chambre de post-combustion (derrière le brûleur), rendant possible une combustion complète. Les produits de la réaction solide sont recueillis dans un éliminateur de cendres, des cyclones et filtres, qui se présentent sous la forme de sacs ou de filtres en céramique. Les produits gazeux sont traités avec les laveurs d'eau et les installations de réduction des oxydes d'azote (Denox), ces dernières sont particulièrement importantes en cas de combustion d'explosifs tels que le TNT, en raison de la production de concentrations élevées de NOx. Les émanations de gaz seront ainsi conformes aux exigences les plus strictes des autorités environnementales nationales [9].

En fonction de la taille et des critères de performance, les fours rotatifs peuvent être utilisés pour brûler des explosifs et des poudres propulsives en vrac, des munitions de petit calibre (jusqu'à 20 000 obus par heure), ainsi que des allumeurs, des détonateurs et autres dispositifs d'allumage, notamment en grandes quantités. Si nécessaire, des munitions de moyen et grand calibres devraient subir un prétraitement, avant l'introduction de la charge explosive. Des méthodes adaptées de prétraitement seront examinées dans les chapitres ci-dessous.

Les fours rotatifs ont été largement utilisés sur une base commerciale aux USA, en Allemagne, en France, en Italie, au Royaume-Uni, en Albanie et en Ukraine. En conclusion, on peut dire que le four rotatif convient tout particulièrement à la destruction d'une grande variété de types de munitions et à la démilitarisation.

En Bosnie, le PNUD recourt à un système de destruction de munitions transportables conteneurisées (TADS). Ce système peut être installé partout et il peut fonctionner à 25 % du coût de fonctionnement total du four rotatif. Ces systèmes mobiles peuvent être employés pour détruire des munitions à la fois de petit calibre et en grandes quantités.

Figure 4.2 : Système de destruction des munitions conteneurisées employé en Bosnie par le PNUD

## 2. Incinérateur à lit fluidisé

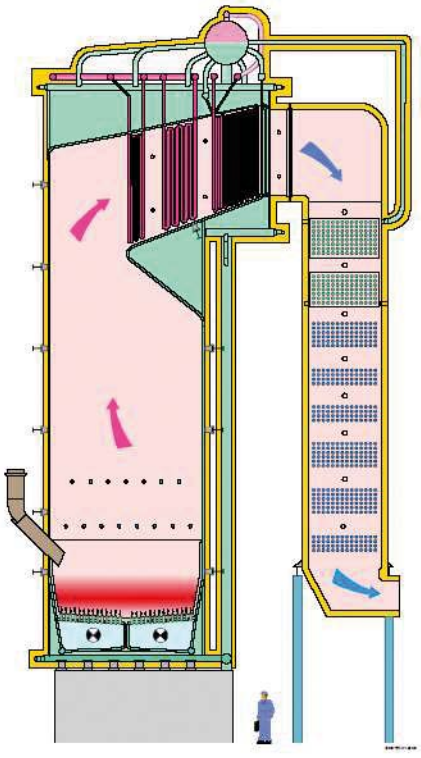

Figure 4.3 : Incinérateur à lit fluidisé

Le déchet explosif est pompé en tant que minerai broyé non-explosif [10] dans le lit (zone en rouge). Le lit consiste en particules de sable (principalement de l'oxyde de silicone) dont la granulométrie est bien définie. Sous l'action du flux d'air chaud, les particules de sable commencent à flotter et agissent comme un liquide. Il s'agit d'un procédé très sûr d'incinération des déchets explosifs.

Le lit fluidisé est réalisable dans toutes les dimensions. La figure 4.4 montre une installation industrielle. Pour l'incinération de déchets explosifs, des petites installations d'un diamètre de 0,5 mètre suffisent.

Le principal avantage du four à lit fluidisé est sa faible consommation d'énergie. Il est donc possible d'extraire la chaleur excédentaire disponible dans le four afin de chauffer un four séparé pour le traitement thermique des pièces de munitions de taille moyenne en petites quantités. (Voir aussi 4.4 four à chariot)

L'incinérateur à lit fluidisé convient tout particulièrement à la destruction d'explosifs et de poudres propulsives en vrac sous forme de minerai broyé à l'état de boue liquide, composé de matériau énergétique et d'eau.

La destruction des composants pyrotechniques par incinération à lit fluidisé n'est pas toujours possible à cause de la formation de produits qui réagissent avec les particules de sable du lit. Des agrégats risquent de se former et de nuire au bon fonctionnement du lit fluidisé.

## 3. Four à chariot

Ce type de four s'utilise pour le traitement thermique de munitions (parties de munitions) de petit calibre, tels qu'inflammateurs, détonateurs et allumeurs. Ce four est utilisé principalement pour traiter de petites quantités, les grandes quantités de munitions pouvant être traitées

dans le four rotatif. Le four à chariot s'utilise également pour le traitement thermique de déchets de métaux contaminés avec des petites quantités d'explosifs. Dans la pratique, le four s'utilise généralement en combinaison avec d'autres installations, par exemple avec un autre four. La chaleur requise pour réchauffer le four provient de l'excédent de chaleur générée par le grand four.

Figure 4.4 : Four à chariot avec porte semi-ouverte

La munition est placée sur le chariot (qui peut être déplacé dans le four sur des rails). La munition ou le déchet métallique séjourne dans le four pendant 30 minutes. On peut faire passer les gaz qui s'échappent du four dans un système de contrôle de la pollution (SCP) depuis l'installation voisine (par exemple incinérateur à lit fluidisé). Après le traitement thermique, les parties métalliques qui subsistent sur le chariot peuvent faire l'objet d'une certification d'élimination des explosifs (FFE), être emballés puis transportés vers l'industrie de la ferraille.

## 4. Installation de décontamination par flux de gaz chaud

L'installation de décontamination par flux de gaz chaud (en fait un four à chariot mais en plus grand) peut s'utiliser pour traiter les produits qui contiennent des traces de matières énergétiques, à condition toutefois que les quantités de ces matières ne soient pas importantes (chapitre V). Les produits à traiter sont chargés dans des paniers, reliés à des palettes métalliques, ou sécurisés directement à la surface d'une automotrice spécialement conçue à cet effet. L'automotrice est ensuite placée dans une chambre de décontamination de manière à ce que l'automotrice et la chambre forment un réceptacle étanche. La chambre est alimentée en air chaud pour qu'une température de 300° C y soit maintenue pendant une à deux heures.

Figure 4.5 : L'installation de décontamination par flux de gaz chaud. L'automotrice est chargée avec des paniers métalliques contenant des munitions prétraitées.

L'installation convient tout particulièrement au nettoyage de grandes quantités de déchets contaminés.

## 5. Chambre d'explosion confinée ou contrôlée

Ce type d'équipement est utilisé aux fins d'une destruction par propagation de la détonation. Ce principe repose sur la détonation par influence d'une petite charge d'explosifs, le plus souvent d'explosifs type plastique en étroit contact avec les munitions à détruire. La chambre est conçue de manière à résister à une surpression générée par les explosifs, mais elle ne résiste pas à la force de brisance des explosions voisines. La charge maximale des explosifs dont l'explosion peut être concomitante dépend de la conception et de la taille de la chambre de détonation. La chambre de détona-

tion convient parfaitement à la neutralisation de petites quantités de munitions de taille moyenne, notamment de grenades à main et de mines antipersonnel. Les munitions de plus grand calibre (cartouches de calibre > à 105 millimètres) doivent être écrasées préalablement à leur destruction dans la chambre de détonation.

Pour prévenir toute contamination du personnel, il est important de respecter de simples mesures de protection comparables à celles utilisées lors du brûlage et de la combustion à l'air libre.

Figure 4.6 : Version mobile d'une chambre de détonation avec système de contrôle de la pollution atmosphérique et de la surpression.

# V. Techniques additionnelles de neutralisation des munitions

Dans le chapitre IV, quelques techniques de brûlage et d'explosion en milieu confiné ont été examinées. Ces techniques utilisent, pour la plupart d'entre elles, des quantités limitées de munitions, ou réduisent les effets les plus négatifs possibles des munitions. Pour de grandes quantités, il peut s'avérer nécessaire de démonter les munitions. Cette ingénierie inverse fournira :

- Des dispositifs explosifs séparés complets adaptés à une neutralisation ultérieure.
- Des dispositifs explosifs qui nécessitent une réduction mécanique.

## 1. Assemblage inverse

Ce procédé peut être exécuté dans les usines qui ont produit les munitions. Lors de l'assemblage inverse, les diverses parties des munitions sont séparées au moyen d'équipements qui pourront également servir à la production des munitions. L'équipement doit être adapté pour le procédé inverse et être manipulé par du personnel qualifié. Ce procédé peut inclure plusieurs opérations.

- Les dispositifs d'amorçage
- détonateurs et amorçages sont retirés de la cartouche.
- Les allumeurs sont enlevés des projectiles.
- Les amorçages (boosters) sont séparés des allumeurs.
- Les inflammateurs et les inflammateurs du noyau central sont enlevés de la cartouche.
- Les cartouches de poudre propulsive sont séparées des projectiles et la poudre propulsive est enlevée.

La réduction peut s'effectuer en combinant de manière appropriée l'équipement et le personnel qualifié. Pour le démontage mécanique, des systèmes à manœuvre mécanique sont utilisés pour démonter les munitions. À la différence du démontage manuel, le démontage mécanique présente l'avantage d'avoir des taux de production

Figure 5.1 : Démontage manuel de mines terrestres antipersonnel (Donetsk, Ukraine)

Figure 5.2 : Tour utilisé pour le découpage d'un mortier de 81 mm

élevés. C'est un système efficace, à faible coefficient de main-d'œuvre. Il importe de disposer d'une grande variété d'équipements pour respecter toutes les exigences de la réduction.

## 2. Démontage mécanique

La réduction mécanique nécessite des équipements tels que tours, scies (en particulier scies à ruban) et fait appel au découpage hydro-abrasif. L'instrument de découpage sert à ouvrir les munitions, à séparer le détonateur du projectile, les cartouches des projectiles etc. sans qu'il soit nécessaire de disposer des équipements spécialisés indispensables pour la méthode d'assemblage inverse. Toutefois, la quantité de personnel et de munitions à détruire est comparable à celle du processus d'assemblage inverse.

La réduction peut s'effectuer à l'aide d'un tour, ainsi qu'en sciant ou en découpant la munition en petites parties à condition de prendre toutes les précautions voulues. Ces techniques sont utilisables partout dans le monde. L'application de ces techniques pour l'assemblage inverse des munitions risque d'engendrer des situations dangereuses puisque la majorité des charges explosives sont sensibles à la friction.

On peut utiliser cette méthode de réduction lorsque la sécurité du personnel est garantie. Un procédé de contrôle à distance sera dans la plupart des cas suffisant et son exécution obligatoire pour assurer la sécurité du procédé.

La munition peut également être sectionnée au moyen d'une technologie hydro-abrasive à haute pression, à condition que la pression de l'eau ne dépasse pas 2 000 bar. Les pressions de fonctionnement courantes sont généralement de 200 bar.

Figure 5.3 : Équipement pour le découpage hydro-abrasif, et coupe d'un obus de 155 mm

Cette technologie vient du secteur offshore et a été utilisée pour découper des pipelines ou des réservoirs contenant des vapeurs d'hydrocarbures.

Le découpage hydro-abrasif présente l'avantage d'être flexible ; en effet, il permet de découper tous les types d'aluminium à partir de 40 mm jusqu'à des bombes et des torpilles de grands formats. Un autre avantage est sa sécurité avérée dans le cadre des limites de pression. Le système de découpage hydro-abrasif convient particulièrement bien au découpage des munitions contenant des explosifs à liant plastique.

Figure 5.4 : Installation de cryofracture d'Alsetex (France) (reproduction avec l'aimable autorisation de la NAMSA)

En conclusion, la réduction mécanique est un procédé que l'on peut exécuter avec un contrôle à distance.

### 3. Cryofracture

Cette technique a été mise au point pour la démilitarisation des munitions chimiques. [10] La munition est refroidie dans un conteneur rempli d'azote liquide. L'acier des projectiles se casse à basse température. Les projectiles sont ensuite transférés dans une presse hydraulique et fracturés pour récupérer l'explosif ou l'agent chimique alors que les obus sont transformés en fragments métalliques plus petits.

Du fait de la basse température, l'agent de guerre chimique contenu dans les projectiles ne peut pas s'évaporer ; les fragments métalliques et l'agent chimique sont donc traités dans un four spécial de traitement des émanations.

La cryofracture est couramment utilisée en Europe pour la démilitarisation commerciale de petites unités ou de composants explosifs. La congélation des dispositifs permet de désensibiliser l'explosif qui peut alors être écrasé en sécurité puis traité dans un four. Cette technique a été utilisée pour réduire des dizaines de milliers de bombettes des armes à sous-munitions.

## VI. Techniques de séparation

Les techniques de séparation couramment utilisées pour séparer la teneur en explosifs des conteneurs métalliques comprennent :

- les techniques de fusion
- le lavage par jet d'eau à haute pression
- le lavage au solvant

### 1. Techniques de fusion

Les techniques de fusion sont largement utilisées pour enlever les explosifs et les charges de la munition mises à l'état liquide. L'exemple le plus courant est le TNT (trinitrotoluène) et les dérivés du TNT, tels que TNT/RDX, qui sont versés à l'état fondu à une température d'au moins 80,35° C. Les techniques de fusion conviennent

à toutes les munitions à base de TNT. En raison de son point de fusion élevé (205,5° C), ce procédé ne convient pas aux munitions à base de RDX.

On chauffe la munition avec de l'eau chaude/de la vapeur ou dans un four à induction. Les explosifs fondent à des températures supérieures à 80,35° C et s'écoulent de l'enveloppe.

Il est possible de recueillir les explosifs fondus aux fins de leur traitement ultérieur ou de leur neutralisation. Cette technique est souvent utilisée pour la production d'explosifs et de mines à des fins commerciales.

Figure 6.1 : Fusion de TNT en autoclaves dans l'usine de neutralisation des munitions d'Ankara (NAMSA)

- Les vapeurs TNT doivent être évacuées par un procédé d'évaporation approprié.
- Du fait de la couche résiduelle d'explosif, la munition doit faire l'objet d'un traitement thermique additionnel (four à chariot ou décontamination par flux de gaz chaud (chapitre IV)).

La technique de fusion est également employée pour la démilitarisation de munitions au phosphore blanc. La munition est immergée dans un bain avec de l'eau chaude (50° C). Le phosphore fond à 42°C et peut être recueilli sous l'eau. On doit procéder ainsi à cause de la forte réactivité du phosphore avec l'oxygène dans l'air. Le phosphore blanc ainsi recueilli a une valeur commerciale. De petites quantités de munitions contenant du phosphore blanc peuvent être neutralisées par explosion à air libre (OD), mais il conviendrait de demander l'avis d'experts compte tenu des risques de pollution de l'environnement.

Figure 6.2 : Récupération du phosphore blanc par fusion

## 2. Lavage par jet d'eau

Le principe du lavage par jet d'eau repose sur l'utilisation d'un jet d'eau à haute pression. Le jet d'eau se concentre sur la charge explosive au moyen d'une buse tournante. Le lavage par jet d'eau à haute pression permet d'éliminer tout type de charge explosive contenue dans l'enveloppe métallique de la munition. Le lavage convient particulièrement bien à l'élimination des explosifs à liant plastique (PBX) et autres explosifs à enveloppe non fondue.

On peut laver simultanément deux munitions dans l'installation décrite à la figure 6.3. Elle permet de laver les huit munitions en une demi-heure.

Les caractéristiques du lavage par jet d'eau sont les suivantes :

- le jet d'eau convient à l'élimination de tous les types d'explosifs (pas seulement les types d'enveloppe

fondus/aucune couche épaisse de matières explosives n'y résiste) ;
- la pollution est moindre dans les bâtiments, il y a moins de vapeur de TNT, les conditions d'hygiène au travail sont meilleures ;
- l'eau dans le processus de lavage est recyclée (aucun problème de déchets) ;
- les explosifs peuvent être séparés de l'eau pour réutilisation ;
- les explosifs peuvent être transformés en boue classifiable dans la classe 4.1 [11].

Figure 6.3 : Lavage par jet d'eau d'obus de 155 mm

L'installation de lavage par jet d'eau peut être combinée de manière très efficace avec le système de découpage hydro-abrasif (chapitre V, paragraphe 2).

### 3. Lavage au solvant

Cette technique utilise un solvant qui permet de dissoudre facilement les explosifs. Comme la plupart des explosifs, tels le TNT et le RDX, ne sont pas solubles ou sont très peu solubles dans l'eau, il faut choisir d'autres solvants. La majorité des explosifs sont dissous dans des solvants tels que le chlorure de méthylène, l'alcool de méthylène, l'acétone ou le toluène. Il y a lieu de souligner que de grandes quantités de solvants sont nécessaires et qu'il faut disposer de grandes installations de stockage du solvant. Le lavage au solvant permet le recyclage des explosifs. Cette technique sera préférable pour réutiliser les explosifs militaires de grande valeur. Elle ne convient qu'à de petites quantités de munitions.

On peut également utiliser le lavage au solvant pour nettoyer des parties métalliques contaminées, par exemple des obus après avoir enlevé l'explosif par fusion. Le solvant dissout la fine couche d'explosif qui subsiste dans l'obus après la phase de fusion.

Ce type de traitement doit également s'effectuer dans des conditions de sécurité appropriées ; certains solvants ont une pression de vapeur très élevée et risquent de former des mélanges explosifs avec l'air alors que d'autres peuvent être nocifs pour l'homme en raison de leur toxicité (toluène, chlorure de méthylène).

## VII. Techniques expérimentales de conversion

Dans les chapitres III et IV, la combustion des déchets explosifs a été abordée sous l'angle des techniques de conversion. Ces deux dernières décennies, de nouvelles technologies expérimentales ont été testées pour la conversion des déchets explosifs. Ces technologies sont les suivantes :

- l'oxydation à l'eau supercritique
- la pyrolyse par arc plasma

- l'oxydation électrochimique
- la réaction chimique
- la dégradation biologique

Ces techniques à petite échelle sont conçues et utilisées pour des types très spécifiques de déchets.

## 1. Oxydation à l'eau supercritique

L'oxydation à l'eau supercritique (SCWO), connue également sous le nom d'oxydation hydrothermique, détruit les résidus organiques toxiques et dangereux dans un système compact, totalement confiné. Cette technologie est intéressante pour la destruction de compositions pyrotechniques contenant du chlorure (hexachloroéthane, chlorure de polyvinyle, par exemple), mais aussi des agents irritants et agents chimiques de guerre. C'est un procédé de haute technologie pour la destruction de compositions contenant du chlorure, ce qui évite la formation de dioxines.

## 2. Pyrolyse par arc plasma

Le réacteur à plasma se compose d'une centrifugeuse interne dans laquelle les substances de déchets dangereux sont chauffées par des torches fondues produisant un arc plasma à une température d'environ 20 000° C. Les eaux usées du système de nettoyage des effluents gazeux sont traitées dans une unité d'évaporation de l'eau. Par la suite, aucune eau usée ne s'infiltre dans les systèmes d'évacuation. Du fait de sa teneur toxique (métaux toxiques), il faut évacuer le résidu sec de l'évaporateur dans un site de stockage de déchets dangereux.

La technologie par arc plasma a été conçue pour détruire les déchets dangereux tels que les agents chimiques contenant de l'arsenic. Comme le produit du réacteur est une composition vitrifiée dans laquelle les composés toxiques sont capturés, il faut stocker le produit fini dans un site de stockage de déchets dangereux.

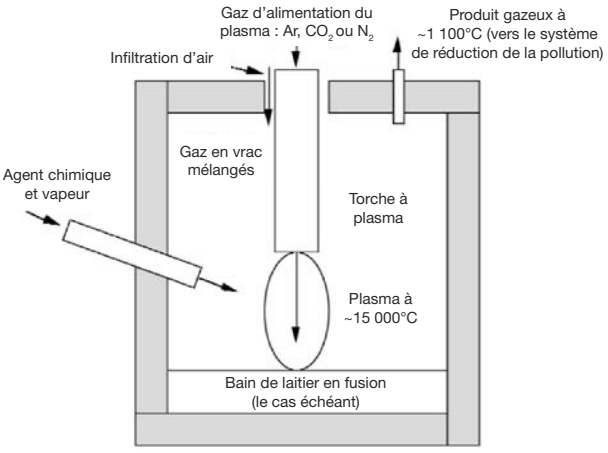


Figure 7.1 : Schéma d'un réacteur à plasma

Les composés énergétiques (explosifs, poudres propulsives et compositions pyrotechniques) en présence d'une petite quantité d'oxygène sont oxydés dans un réacteur à plasma en produits gazeux consistant principalement de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de carbone et de petits hydrocarbones (méthane, éthylène et éthane). Les fours à arc ont des temps de démarrage très brefs (d'environ cinq minutes pour stabiliser l'opération) ainsi que des temps d'arrêt très courts. Le processus nécessite une grande quantité d'énergie et est donc très couteux ; on l'utilise principalement pour la neutralisation de certains types de munitions chimiques. De plus, la pyrolyse à arc plasma convient fort bien à la décontamination de parties métalliques.

## 3. Oxydation électrochimique

La technologie AEA et SILVER II™ repose sur la nature hautement oxydante des ions d'$Ag^{2+}$ qui sont produits lorsque le courant électrique passe au travers d'une solution de nitrate d'argent dans l'acide nitrique dans une cellule électrochimique similaire à celle utilisée dans les processus électrochimiques commerciaux. Les réactions électrochimiques utilisées dans la technologie SILVER II™ appartiennent à une classe de processus chimiques

connus collectivement comme oxydation électrochimique (MEO). Les processus d'oxydation électrochimique sont souvent présentés comme alternative à l'incinération classique pour la destruction des déchets dangereux. Le développement et l'application étant relativement nouveaux, l'expérience de ces processus est encore limitée.

Ces processus peuvent s'employer pour neutraliser les explosifs primaires comme l'azide de plomb et le styphnate de plomb.

## 4. Dégradation biologique

La dégradation biologique fait appel à la capacité des microorganismes à consommer des produits chimiques contenus dans les munitions, tels le TNT et d'autres composants explosifs ou propulsifs. La dégradation biologique peut se pratiquer comme un processus chimique dans un équipement de type réacteur.

Figure 7.2 : Installation de dégradation biologique

Comme les taux de réaction sont lents, il faut disposer de grandes installations de stockage ; il est donc préférable d'utiliser la technologie de conversion agricole. Un grand nombre de microorganismes pouvant convertir les produits chimiques existants déjà dans le sol. La technologie de conversion agricole créé les conditions optimales dans le sol pour les microorganismes afin de convertir les composés énergétiques organiques :

- pourcentage d'oxygène
- pH du sol
- pourcentage d'eau dans le sol
- éléments nutritifs supplémentaires pour les microorganismes

Le type réacteur convient tout particulièrement au traitement de déchets explosifs en grandes concentrations tandis que la biorégénération du sol peut être utilisée pour dépolluer in situ les sites militaires contaminés (qui ont une faible concentration en matières énergétiques). La dégradation biologique n'est pas recommandée pour traiter des (résidus de) poudres propulsives contenant des métaux lourds (en tant qu'additif pour l'érosion de canons de révolvers ou en tant qu'inhibiteur de la réaction de combustion).

# VIII. Discussion

Un grand nombre de technologies différentes sont utilisées pour la destruction des munitions. Afin d'évaluer les méthodes qui appliquent les meilleures pratiques, on peut, à titre d'orientation, mentionner quelques critères.

1. La technologie appliquée devrait mener à la destruction irréversible des munitions et des explosifs, poudres propulsives et composants pyrotechniques qu'elles contiennent.
2. La technologie appliquée devrait avoir des conséquences minimes sur l'environnement et être sûre pour le personnel qui l'utilise. Il faudrait appliquer les principes d'une analyse totale du système environnemental.
3. La technologie appliquée devrait être économiquement viable, exiger peu d'énergie pour la destruction, et produire le minimum de déchets.
4. La combinaison des technologies appliquées devrait permettre de détruire la grande majorité des types de munitions.
5. La technologie appliquée devrait quelquefois permettre de garantir la sécurité des munitions à l'emplacement où elles se trouvent. Les munitions qui ne sont pas sûres pour le transport ne doivent pas être déplacées.

Le choix de la technologie la plus appropriée pour la démilitarisation des munitions dépendra dans une large mesure de la situation locale. Dans la pratique générale, il ne s'agit pas seulement d'une technologie mais d'une combinaison de technologies. Une liste est donc présentée avec les technologies de démilitarisation les plus fréquemment utilisées ainsi que les conditions de leur application.

| Technologies | Conditions d'application |
|---|---|
| Explosion à l'air libre | Aucune autre technologie disponible ou aucune technologie financièrement viable<br>Transport non possible<br>Risque de sécurité élevé avec des munitions dans la zone<br>Munitions de grand et moyen calibres |
| Brûlage à l'air libre | Aucune autre technologie disponible ou aucune technologie financièrement viable<br>Quantité limitée d'explosifs de préférence |
| Four rotatif | Quantités importantes de munitions de petit et moyen calibres<br>Après réduction, cette méthode peut convenir à des munitions de grand calibre |
| Lit fluidisé | Grandes quantités d'explosifs et de poudres propulsives en vrac<br>Récupération possible de l'énergie<br>Combinaison avec le four à chariot |
| Four à chariot | Petites quantités d'initiateurs, de détonateurs, d'allumeurs, de compositions pyrotechniques |
| Décontamination au gaz chaud | Grandes quantités de déchets métalliques contaminés |
| Chambre d'explosion | Quantité limitée de munitions |
| Technologies de réduction | À utiliser en combinaison avec les options de réutilisation<br>Prétraitement pour d'autres technologies |
| Technologies de séparation | Recyclage et réutilisation |
| Technologies expérimentales de conversion | Applications spécifiques pour des matières dangereuses afin de prévenir la formation de substances très toxiques et la protection de l'environnement |

Dans la pratique, la démilitarisation des munitions fait toujours appel à une combinaison des technologies susmentionnées. Il importe de disposer des technologies sur place et surtout de personnel qualifié.

Si l'on veut traiter une grande quantité de munitions, il sera rentable de construire une installation fixe. Si les quantités de munitions sont modérées, il est conseillé d'utiliser une installation mobile. Il peut être intéressant de transformer localement les munitions en déchets de classe 4.1. Ce procédé consiste à séparer les explosifs des parties métalliques et à les mélanger ensuite avec de l'eau et des additifs [10]. Cette conversion exige toutefois des technologies complexes, l'accès à des installations d'élimination des déchets dangereux, notamment des déchets dangereux de l'incinérateur de déchets explosifs etc.

Pour des applications spéciales, on peut recommander l'utilisation de technologies expérimentales. Par exemple, lors de l'utilisation de technologies d'incinération conventionnelles, on encourt le risque de production de produits chimiques hautement toxiques, comme les dioxines.

# IX. Conclusions

Les méthodes correspondant aux meilleures pratiques permettent d'atténuer les risques liés à la démilitarisation des munitions au moindre coût et avec un minimum d'impact sur l'environnement. L'applicabilité des différentes techniques dépend dans une large mesure de la situation locale et de l'économie d'échelle.

Lorsque des explosifs ne peuvent être recyclés, ils doivent être détruits. Une technologie prometteuse consistera à transformer les explosifs en déchets de la classe 4.1. Cela peut se faire en mélangeant les matières énergétiques à de l'eau et à des additifs, les déchets de la classe 4.1 qui en résultent pouvant être incinérés ailleurs en toute sécurité dans des installations commerciales.

Un nombre restreint de composants contenus dans les munitions devraient être traités par des méthodes spécifiques telles que celles décrites au chapitre VI. Cela vaut tout particulièrement pour les agents de guerre chimique et les compositions de fumée contenant de l'hexachloroéthane ou du phosphore blanc. Il faudrait traiter séparément ces types de munitions en prévoyant des mesures de sécurité supplémentaires.

# X. Liste des abréviations

| | |
|---|---|
| CN | Chloroacétophénone |
| CS | Malononitrile de chlorobenzylidène |
| CW | Arme chimique |
| DBP | Phtalate de dibutyle |
| DNT | Dinitrotoluène |
| DPA | Diphénylamine |
| NG | Nitroglycérine |
| OB | Brûlage à l'air libre |
| OD | Explosion à l'air libre |
| RDX | Cyclotriméthylènetrinitramine (Research Department X) |
| SCW | Oxydation supercritique par voie humide |
| TNT | 2,4,6-trinitrotoluène |
| UXO | Engin non explosé |

# XI. Références


[1] *Normes internationales de l'action anti-mine (IMAS), Deuxième édition 2003*, Service d'action anti-mine des Nations Unies (UNMAS) DC2 0650, Nations Unies, New York, NY 10017, États-Unis, 2003

[2] Mitchell, A. R., Coburn, M. D., Schmidt, R. D., Pagoria, P. F. & Lee, G. S., *Resource Recovery and Reuse (R3) of Explosives by Conversion to Higher Value Products*, Lawrence Livermore National Laboratory, Energetic Materials Center, Livermore, California 94550, USA

[3] *Convention de Londres 1972, Organisation maritime internationale*, Convention de Londres sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets et autres matières de 1972 et Protocole de 1996 y afférent

[4] Accord de Paris OSPAR, *Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nors-Est, Annexe II.*, 22 septembre 1992

[5] *Development of a Protocol for Contaminated sites Characterisation*, KTA 4-28, Final Report, September 2003

[6] N. H. A.Van Ham; F. R. Groeneveld, *ARBO onderzoek EOCKL* (en néérlandais), Report TNO 1999 A89, 1999

[7] Teir, S., *Modern Boiler Types and Applications*, Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering Energy Engineering and Environmental Protection Publications Steam Boiler Technology eBook Espoo, 2002

[8] *A Destruction Handbook (UN)* Department for Disarmament Affairs Conventional Arms Branch, S-3170 United Nations New York, USA

[9] Directive européenne 2000/76/CE concernant l'incinération et la coincinération des déchets ménagers et industriels, 4 décembre 2000

[10] *Cryofracture process, General Atomics. Cryofracture technology for the destruction of AP mines*, International Demil Conference St. Petersburg 2004.

[11] Van Ham, N. H. A., *Safety Aspects of Slurry Explosives*, in Application of demilitarized gun and rocket propellants in commercial explosives, NATO Science Series II- Volume 3.

# NOTE