

DIRECTIVES TECHNIQUES
INTERNATIONALES SUR LES
MUNITIONS

DTIM
05.20

Deuxième édition
01.02.2015

**Types de bâtiments pour les
installations d'explosifs**

Avertissement

Les Directives Techniques Internationales sur les Munitions (DTIM) font l'objet d'un examen et d'une révision périodiques. Ce document est en vigueur à compter de la date indiquée sur la page de couverture. Pour vérifier son statut, les utilisateurs doivent consulter le projet SaferGuard de l'ONU via le site Web du Bureau des Nations Unies pour les Affaires de Désarmement (UN ODA) à l'adresse :

www.un.org/disarmament/un-saferguard/.

Avis de Droit d'auteur

Ce document est une Directive Technique Internationale sur les Munitions et est protégé par le droit d'auteur de l'Organisation des Nations Unies. Ni le présent document, ni aucun de son extrait ne peut être reproduit, stocké ou transmis sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, à d'autres fins, sans l'autorisation écrite préalable de l'UNODA, agissant au nom de l'Organisation des Nations Unies.

Ce document ne doit pas être vendu.

Bureau des Nations Unies pour les Affaires de Désarmement (UNODA)
Siège de l'Organisation des Nations Unies, New York, NY 10017, États-Unis

E-mail : conventionalarms-unoda@un.org

Tel : +1 917 367 2904

Fax : +1 917 367 1757

Table des Matières

Table des Matières	iii
Avant-propos	Error! Bookmark not defined.
Introduction	vi
Types de bâtiments pour les installations d'explosifs.....	1
1 Champ d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions.....	1
4 Effets explosifs	2
4.1 Fragments et débris.....	2
4.2 Incendie et rayonnement thermique	2
4.3 Explosion terrestre.....	3
4.4 Souffle	3
4.5 Résumé des effets.....	4
4.6 Effets du souffle.....	4
5 Protection contre la propagation explosive	5
5.1 Division de risque 1.1	5
5.2 Division de risque 1.2	6
5.3 Division de risque 1.3	7
5.4 Divisions de risque 1.4, 1.5 et 1.6.....	7
6 Effets physiologiques d'une explosion	7
6.1 Blessures de la division de risque 1.1.....	7
6.2 Blessures de la division de risque 1.2.....	8
6.3 Blessures de la division de risque 1.3.....	8
7 Dégâts aux bâtiments	8
8 Types de bâtiments aux installations d'explosifs	9
8.1 Bâtiments de structure légère.....	9
8.2 Bâtiment à murs moyennement renforcés	9
8.3 Bâtiment à murs renforcés.....	10
8.4 Bâtiment recouvert de terre	10
8.5 Igloo.....	10
8.6 Baie ou site ouvert	10
8.7 Bâtiment de traitement.....	11
8.8 Stockage de récipients	11
9 Bâtiments occupés et SPE	11
9.1 Considérations structurelles	11
9.2 Construction vulnérable.....	12
9.3 Autre bâtiments	12

10	Considérations de conception (NIVEAU 2).....	14
10.1	Bâtiments de protection du personnel (NIVEAU 2).....	15
10.2	Conception des structures de "relâchement de pression/soupape de pression/..."(NIVEAU 2).....	15
10.3	Matériaux fragiles et leur caractéristiques (NIVEAU 2).....	15
10.4	Munitions soumises aux considérations particulières (NIVEAU 2)	16
10.5	Construction pour contenir les fragments et empêcher le lancement (NIVEAU 2)	17
10.6	Protection contre les objets projetés (NIVEAU 2)	17
11	Matériaux de construction.....	17
11.1	Terre.....	17
11.2	Béton armé (NIVEAU 3)	18
11.3	Acier profilé (NIVEAU 3).....	19
11.4	Briquetage (NIVEAU 2).....	20
11.5	Commentaires généraux sur les matériaux de construction non-spécifiés (NIVEAU 2)	20
11.6	Toitures (NIVEAU 2).....	20
11.7	Sols (NIVEAU 2).....	21
11.8	Murs externes et internes (NIVEAU 2).....	21
11.9	Drainage (NIVEAU 2)	21
11.10	Portes (NIVEAU 2)	21
11.11	Vitres et autres vitrages (NIVEAU 2)	22
11.12	Ventilation et climatisation (NIVEAU 2/3)	23
11.13	Chauffage et réseaux (NIVEAU 2)	24
11.14	Équipement d'élévation (NIVEAU 2)	24
11.15	Protection parafoudre.....	24
12	Exigences électriques (NIVEAU 2)	25
13	Conception contre l'explosion et capacité de survie	25
	Annexe A (normative) Références	26
	Annexe B (informative) Références.....	27
	Annexe C (informative) Liste des types de bâtiment de stockage de munitions.....	28

Avant-propos

En 2008, un groupe d'experts gouvernementaux des Nations-Unies a présenté un rapport à l'Assemblée Générale sur les problèmes découlant de l'accumulation de stocks de munitions conventionnelles en surplus.¹ Le groupe a noté que la coopération en matière de gestion efficace des stocks doit privilégier une approche portant sur la «gestion des stocks tout au long du cycle de vie des munitions», allant des systèmes de classification et de comptabilisation – qui sont indispensables à une manutention et à un stockage sans risques, ainsi qu'à l'identification des surplus – aux systèmes de sécurisation et aux procédures de surveillance et de vérification visant à évaluer la stabilité et la fiabilité des munitions.

L'une des principales recommandations du groupe suggère que les Nations-Unies définissent en leur sein des directives techniques régissant la gestion des stocks de munitions.

L'Assemblée générale a par la suite accueilli favorablement ce rapport et encouragé les États à mettre en œuvre ces recommandations.² Cela a mandaté les Nations-Unies à développer des directives techniques pour la gestion des stocks de munitions conventionnelles, communément connues aujourd'hui sous le terme «Directives Techniques Internationales sur les Munitions (DTIM)».

Les travaux de préparation, de réexamen et de révision de ces directives ont été effectués dans le cadre du Programme SaferGuard des Nations-Unies par un groupe d'évaluation technique composé d'experts des États Membres, avec l'appui d'organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales.

En décembre 2011, l'Assemblée générale a adopté une résolution³ favorable à élaboration des DTIM et incitant encore plus les États à appliquer les recommandations du Groupe d'experts gouvernementaux;¹ le rapport du Groupe d'experts gouvernementaux recommandait aux États l'utilisation des DTIM à titre volontaire. La résolution a également encouragé les États à entrer en contact avec le Programme SaferGuard des Nations-Unies en vue de renforcer la coopération et bénéficier d'une assistance technique.

Ces DTIM feront l'objet d'un examen périodique afin de refléter l'évolution des normes et pratiques en matière de gestion des stocks de munitions et d'inclure les modifications apportées en raison des amendements des réglementations et exigences internationales appropriées. Ce document fait partie de la deuxième édition (2015) des DTIM, soumise au premier examen quinquennal par le groupe de travail d'experts de l'UNODA sur les munitions. La dernière version de chaque directive, ainsi que des informations sur les travaux du groupe d'évaluation technique, sont disponibles à l'adresse suivante: www.un.org/disarmament/un-saferguard/.

¹ Résolution A/63/182 de l'Assemblée générale des Nations-Unies, *Les problèmes découlant de l'accumulation de stocks de munitions conventionnelles en surplus*. 28 juillet 2008. Rapport du Groupe d'experts gouvernementaux). Le groupe était mandaté par la résolution A/RES/61/72, *Les problèmes découlant de l'accumulation de stocks de munitions conventionnelles en surplus*. 6 décembre 2006.

² Résolution A/63/182 de l'Assemblée générale des Nations Unies (AGNU), *Les Problèmes découlant de l'accumulation de stocks de munitions conventionnelles en surplus*. 2 décembre 2008.

³ Résolution A/66/42 de l'Assemblée générale des Nations Unies (AGNU), *Les problèmes découlant de l'accumulation de stocks de munitions conventionnelles en surplus*. Adoptée le 02 décembre 2011 et datée du 12 janvier 2012.

Introduction

Cette DTIM guide décrit en détail les exigences générales et, dans certains cas, les exigences obligatoires recommandées pour la conception des bâtiments qui doivent contenir des explosifs à des fins de stockage ou de traitement. La plupart des sites potentiels d'explosion (SPES) constituent de facto un danger potentiel pour le personnel, les autres installations explosives et les autres bâtiments qui se trouvent à proximité. Une conception, une construction et une implantation correctes des bâtiments sont essentielles pour une utilisation efficace des distances de sécurité (QD) calculées.⁴

Cette DTIM décrira les conséquences potentielles d'événements explosifs susceptibles de se produire et les effets subséquents sur le bâtiment contenant les explosifs et les autres bâtiments voisins. Il décrira également comment la conception appropriée des bâtiments permettra d'atténuer ces effets et fournira des descriptifs et schémas de certains modèles typiques de bâtiments de stockage de munitions.

⁴ Voir DTIM 02.20 *Distances de Sécurité et de Séparation*.

Types de bâtiments pour les installations d'explosifs

1 Champ d'application

Cette DTIM présentera des scénarios et les conséquences des événements explosifs imprévus dans les installations d'explosifs, comment les bâtiments différents réagiront à ces événements selon leur conception, et comment la conception de ces bâtiments et leurs QD associées peuvent être optimisé pour réaliser le stockage d'explosifs d'une manière sûre et efficace.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris toute modification) s'applique.

Une liste de références normatives figure à l'annexe A. Les références normatives sont des documents importants auxquels il est fait référence dans le présent guide et qui font partie des dispositions du présent guide.

Une autre liste de références informatives figure à l'annexe B sous la forme d'une bibliographie qui énumère des documents supplémentaires contenant d'autres informations utiles sur le transport des munitions conventionnelles.

3 Termes et définitions

Aux fins de la présente directive, les termes et définitions suivants, ainsi que la liste plus complète figurant dans la DTIM 01.40:2015[E] *Termes, définitions et abréviations*, sont applicables.

Le terme « bâtiment de traitement de munitions » fait référence à *un bâtiment ou une zone qui accueille, ou qui est destiné à accueillir une ou plusieurs des activités suivantes : l'entretien, la préparation, l'inspection, la panne, la rénovation, le contrôle ou la réparation de munitions et des explosifs.*

Le terme « site exposé » fait référence à *un magasin, une cellule, un empilement, un camion ou une remorque chargée de munitions, un atelier d'explosifs, un bâtiment occupé, un lieu de rassemblement ou une voie publique de circulation qui est exposé aux effets d'une explosion (ou d'un incendie) au site potentiellement explosif sous examen.*

Le terme « magasin de munitions » fait référence à *tout bâtiment ou structure agréé pour le stockage de munitions.*

Le terme « autorité nationale technique » fait référence *aux direction(s) ou organisation(s) ou établissement(s) gouvernementaux chargé(s) du contrôle, de la gestion, de la coordination et du fonctionnement des activités du stockage et de la manipulation des munitions conventionnelles.*

Le terme « site potentiel d'explosion » fait référence à *une localisation d'une masse explosive pouvant générer un risque de souffle, de fragmentation, thermique ou de débris dans le cas d'une explosion de son contenu.*

Dans tous les modules des Directives techniques internationales sur les munitions, les mots « doit », « devrait », « peut (permission) » et « peut (capabilité) » sont utilisés pour exprimer les dispositions conformément à leur utilisation dans les normes ISO.

- a) « **doit** » indique une exigence : Il sert à indiquer les exigences à suivre rigoureusement pour se conformer au document et auxquelles aucune dérogation n'est permise.

- b) « **devrait** » indique une recommandation : Il est utilisé pour indiquer que, parmi plusieurs possibilités, l'une d'entre elles est recommandée comme particulièrement appropriée, sans mentionner ou exclure d'autres, ou qu'une certaine ligne de conduite est préférable mais pas nécessairement requise, ou que (sous forme négative, «ne devrait pas») une certaine possibilité ou ligne de conduite est dépréciée mais pas interdite.
- c) « **peut** » indiquant la permission : Il sert à indiquer une ligne de conduite permise dans les limites du document.
- d) « **peut** » indiquant la possibilité et la capacité : Il est utilisé pour les déclarations de possibilités et de capacités, qu'elles soient matérielles, physiques ou occasionnelles.

4 Effets explosifs

Divers effets physiques se produisent lors d'une explosion et le but du stockage d'explosifs est d'atténuer les effets d'une explosion au cas où elle se produirait. Il y a plusieurs moyens pour ce faire ; imposer des distances minimales de sécurité (QD) correctes en fonction de la quantité d'explosifs stockées ; s'assurer du respect des règles sur le mélange de Groupes de Compatibilité (GC) ; et s'assurer de l'adéquation de la conception du bâtiment de stockage.

4.1 Fragments et débris

Une explosion de Division de Risque (DR) 1.1 génère des fragments et du débris divers. Les « fragments primaires » sont créés par l'enveloppe métallique des objets explosifs. Ces fragments auront une vitesse d'environ 3000m/s et seront de masses variables selon le genre de munition qui les a générés, mais la masse variera à partir de 1g et plus. Ces fragments peuvent tuer ou blesser le personnel et peuvent initier des munitions et des explosifs adjacents en cas de puissance suffisante.

Les débris et les fragments secondaires proviennent des emballages et les matériaux structurels, y compris de la terre provenant des barricades ou des couvertures, résultant de l'éclatement du site potentiel d'explosion (SPE). Leur vitesse est nettement moindre que celle des fragments primaires (de 10m/s jusqu'à environ 500m/s), et par conséquent ils auront une trajectoire beaucoup plus courte, mais ils peuvent tuer ou blesser le personnel et même initier des munitions et des explosifs adjacents en cas de transfert de puissance suffisante.

Une partie des projections de débris a un effet directionnel, et moins de débris est projeté des angles d'une structure. La projection est au maximum à un angle droit à chaque face de la structure. Ceci s'applique à tous les côtés de la structure, peu importe de la présence d'une barricade⁵.

Un cratère de débris se forme également par l'expulsion de matériel au cœur de l'explosion. Ceci n'a pas d'effet directionnel et, en raison de la vitesse peu importante, ne se propage pas très loin de l'origine de l'explosion. Bien que les débris de cratère présentent un danger d'impact sur le personnel et pourraient même initier les explosifs adjacents si le matériel possède une puissance suffisante, ce n'est généralement pas pris en considération dans les distances de rapprochement associées aux débris de cratère puisque les débris primaire et secondaire - qui traversent également - ont une masse et une vélocité nettement plus importantes, et posent donc un danger plus grand.

Les fragments et les projections peuvent être déplacés considérablement plus loin que la Distance entre bâtiments Habités (IBD), qui représente une probabilité de 1% qu'une personne lambda soit heurtée par un fragment incapacitant qui pourrait la blesser et éventuellement la tuer. Cette probabilité est définie plus précisément comme un fragment de 80 joules qui heurte dans une zone mesurant 56m². En raison du terrain important nécessaire pour garantir une protection totale, cette densité de fragment dangereux est reconnue depuis de nombreuses années comme le niveau de risque acceptable d'un événement explosif accidentel. Pour un événement explosif intentionnel - sur un site de destruction par exemple - les distances de protection sont basées sur la portée du fragment, qui est calculée ou basée sur des tests.

4.2 Incendie et rayonnement thermique

Les effets des flammes et de la chaleur provenant d'une explosion dépendent fortement de la nature d'explosifs concernés. L'explosion de tout explosif a pour conséquence la production d'une boule de

⁵ Voir DTIM 05.30 *Barricades*

feu. Cependant, les explosifs de DR 1.1 produisent une flamme de très courte durée qui présente un danger négligeable par rapport aux effets de souffle et de fragments.

De l'autre côté, les explosifs de DR 1.3 diffèrent des explosifs détonants de DR 1.1 car, sauf si fortement confinés, leur réaction ne génère pas les gaz de haute pression et l'onde de souffle subséquent associés aux explosifs de DR 1.1. La puissance totale déclenchée par un objet de catégorie DR 1.3 est comparable à celle d'une explosion mais elle est relâchée sur une durée plus longue, généralement des secondes ou plus, plutôt qu'en millisecondes (ms). Cette puissance est relâchée en forme d'une flamme intense et le rayonnement thermique associé et peut provoquer un danger en raison d'un empiètement sur des explosifs ou le personnel.

Des matériaux DR 1.3 qui brûlent produisent des gaz de combustion qui, lorsqu'ils brûlent à l'intérieur d'une structure, peuvent générer une pression gazeuse considérable qui peut résulter en l'éclatement d'une structure et la création de débris structurel. Le débris sera plus large et aura une vitesse relativement inférieure. Les effets sont dictés par la quantité de DR 1.3 présente et qui brûle, le taux de combustion, la zone de ventilation présente dans le bâtiment et la solidité de la structure. Les effets sont comparables à la rupture d'un récipient pressurisé qui dépasse sa limite de pression interne.

4.3 Explosion de surface

A l'occasion de l'explosion à forte puissance d'une DR 1.1 sur ou près du sol, une charge de choc est transmise au sol. De l'énergie est également transmise par voie aérienne afin de former une explosion de surface provoquée par l'air, et une partie à travers le sol en tant qu'explosion de surface directe. Une explosion de surface provoquée par l'air se produit lorsque l'onde de choc aérien heurte la surface du sol et provoque une impulsion. L'explosion terrestre de provocation directe résulte du transfert direct vers le sol de l'énergie de l'onde d'explosion. L'explosion de surface nette ressentie est un mélange des deux.

La taille et l'effet de l'explosion de surface sont influencés par la nature du sol, la température et la densité de l'air à travers lequel le choc passe, et par la distance du cœur de l'explosion. Les effets des explosions terrestres sont négligeables comparé au souffle aérien, et généralement ne sont pas pris en compte pour les structures en surface. Cependant, les effets et les conséquences d'une explosion terrestre doivent être évalués pour un stockage souterrain.

4.4 Effet de Souffle

Le souffle produit par l'explosion d'une DR 1.1 prend la forme d'une recrudescence de pression ou un front de choc qui s'élargit de manière radiale du cœur de l'explosion à une vitesse supersonique. Lorsque ce front de choc heurte un objet rigide comme un bâtiment, une pression accrue se produit en raison de la réflexion de l'onde. En s'éloignant de l'explosion, l'onde perd en puissance, allonge sa durée et réduit sa vitesse. En général, la perte de puissance est la fonction de racine cubique inversée de la distance.

Outre les ondes de choc pour chaque zone de pression, le front de choc crée une particule positive ou une vitesse de vent qui provoque une pression dynamique sur les objets sur sa trajectoire. Dans le champ libre, ces pressions sont des fonctions de la densité de l'air et de la vitesse des particules. De plus, une vitesse du vent négative (-) (également appelée une phase négative) sera produite lorsque l'air s'engouffre vers l'intérieur afin d'égaliser la pression aérienne. Cette phase négative peut provoquer des dégâts supplémentaires considérables aux structures déjà impactées par la charge de choc de la phase positive.

Les effets néfastes de la surpression du souffle résultent de l'impulsion associée à l'onde de choc, qui est l'inverse de la pression du souffle. Les quantités nettes d'explosif (QNE) supérieures créent des pressions augmentées d'une durée plus longue, provoquant des impulsions plus importantes qui agissent sur les sites exposés avoisinants. Plus la durée est longue, plus le « travail » associé à l'énergie qui agit sur la structure, qui correspond à plus de dégâts potentiels à la structure. Par exemple - une surpression d'incident de 5kPa d'une explosion de 5kg génère une impulsion de 23.3Pa-s ; alors qu'une surpression d'incident de 5kPa d'une explosion de 50 000kg génère une impulsion de 501Pa-s. Lors de la conception d'une construction protectrice ou lors de l'analyse pour déterminer l'adéquation de la conception d'un bâtiment, l'impulsion du souffle est la valeur utilisée afin de déterminer l'adéquation d'une structure afin de protéger les occupants heurtés par l'onde de choc de pression positive.

4.5 Résumé des effets

La sensibilité de stocks de munitions et d'explosifs à la surpression d'une explosion, au mouvement structurel, à l'incendie et à l'impact des fragments varie selon le type de munitions ou d'explosifs stockés. Sauf dans le cas de surpression très élevée (mbar), la plupart des explosifs, notamment militaires, sont insensibles à l'effet de surpression directe. Cependant, une combinaison de surpression et de mouvement structurel (par exemple, le déplacement d'un mur, l'effondrement du toit, ou l'éclatement structurel) pourrait provoquer la translation ou l'écrasement d'explosifs qui peut créer un impact et ensuite les initier. Une attaque directe de fragments primaires rasantes à haute vitesse (par rapport aux fragments hauts à basse vitesse) est l'origine principale de l'initiation d'explosifs aux sites exposés sans barricades et non-renforcés. Pour les substances explosives plus sensibles et moins robustes ou des objets explosifs à enveloppe légère, les débris ou de l'épaufrure des murs des bâtiments peuvent poser des risques supplémentaires d'initiation.

Il est donc logique que le danger aux explosifs à un site exposé dépendra de la capacité de la structure du site à résister aux effets d'explosion externes et à l'attaque par des éclats primaires sans déformation structurelle notable, et généralement, de prévenir la perforation par les fragments et du débris. L'objectif premier de la conception doit être de prévenir la déformation considérable des structures de stockage d'explosifs adjacentes aux SPE à proximité et d'introduire des mesures pour empêcher la pénétration de fragments/débris et d'empêcher l'épaufrure des faces internes.

Il n'est pas facile de rapporter le risque de projection d'un SPE aux distances échelonnées concernant l'effet d'explosion. Cependant, il est généralement accepté qu'un risque de projections est probable à toutes les distances échelonnées de moins de deux fois la Distance des Bâtiments habités (IBD) conseillée ($(2 \times 22,2Q^{1/3})$), le risque étant plus important si le SPE n'est pas doté de traverses. A moins qu'il ait été démontré que le site exposé (à la distance réduite souhaitée) fournit une protection équivalente à celle offerte à la distance minimale requise, les distances minimales devraient être appliquées telles que détaillées en DTIM 02.20 *Distances de Sécurité et de Séparation (Quantity and Separation distances.)*

4.6 Effets du souffle

Les effets de surpression attendus à une distance échelonnée donnée sont faciles à prévoir (voir DTIM 01.80 *Formules pour la gestion des Munitions (Formulae for ammunition management)*). S'il est supposé, pour des raisons de planification, que la surpression d'une structure légère est la même que celle d'une charge nue d'un poids total explosif (QNE) équivalente, alors les distances minimales de sécurité en Tableau 1 sont des exemples de calcul de surpression pour une quantité donnée d'explosifs à une distance fixe :

Distance de Sécurité (m) (Q (kg))	Incident maximal (Latéral) Surpression Prévues (kPa)
$44,4Q^{1/3}$	2
$22,2Q^{1/3}$	5
$14,8Q^{1/3}$	9
$8,0Q^{1/3}$	21
$3,4Q^{1/3}$	80
$2,4Q^{1/3}$	180

Tableau 1 : La surpression d'une charge nue ou une structure légère

Les structures couvertes de terre atténuent la surpression sur les côtés et derrière, avec une majorité de la réduction derrière le bâtiment. Les chiffres en Tableau 2 correspondent à un igloo à orientation latérale contenant jusqu'à 250 000 kg d'explosifs.

Distance de Sécurité (m) (Q (kg))	Incident maximal (Latéral) Surpression Prévues (kPa)
$19,0Q^{1/3}$	5
$14,0Q^{1/3}$	8
$11,0Q^{1/3}$	9
$6,0Q^{1/3}$	21

Tableau 2 : Atténuation de surpression associée à une explosion dans un igloo couvert par de la terre (latéral)

5 Protection contre la propagation explosive

La protection des explosifs à un site exposé des effets d'une explosion à un SPE peut être réalisée par une combinaison de : 1) la provision de distances de séparation adéquates entre chaque installation d'explosifs ; et 2) en veillant à ce que les bâtiments utilisés pour le stockage d'explosifs sont conçus pour protéger le contenu des effets d'une explosion. Une distance de séparation adéquate réduit considérablement les effets du souffle, des fragments et du rayonnement de chaleur à un niveau qui crée un rapport coût/efficacité intéressant pour la construction d'une structure protectrice au site exposé et rendre peu probable la perte du contenu. Les distances de séparation adéquates assurent également que, dans le cas d'un incident à un SPE et également à un site exposé, le temps entre les deux événements serait suffisant pour empêcher les deux ondes de chocs de se fusionner pour former une seule onde de choc comme s'il s'agissait d'un seul événement. L'impact des ondes de choc de deux explosions indépendantes chacune de 10 000kg sera moins éloigné que les ondes de chocs fusionnées de deux sites de stockage, chacun contenant 10 000kg, ce qui équivaldrait à un événement explosif de 20 000kg.

Afin de garantir une protection maximale, les sites exposés devraient être équipés de traverses (pour interpellier les projection/débris rasants à haute vitesse qui constituent les risques principaux aux sites exposés des explosions DR 1.1), et devraient être soit suffisamment solides pour résister à la puissance de l'explosion soit suffisamment légers pour que son effondrement et les débris formés n'initient pas le contenu. De préférence, les bâtiments devraient pouvoir résister aux effets d'explosion sans déformation notable et empêcher les fragments et les débris de provoquer des perforations. Ceci démontre que les Divisions de Risque ⁶ diverses posent des problèmes différents dans la prévention de la propagation.

5.1 Division de risque 1.1

La protection contre la propagation des explosions dans les empilements ouverts peut se faire par le biais des Distances Minimales de Sécurité (QD) entre les lieux de stockage et par la mise en place efficace de barricades.⁷ Les QD ont pour but d'annuler les effets de souffle, de fragmentation et de rayonnement de chaleur pour atteindre des niveaux auxquels la propagation ne devrait pas se produire rapidement. ⁸Les traverses sont des structures principalement utilisées pour intercepter des projections rasantes à haute vitesse, et de les arrêter ou de réduire leur vitesse à un niveau qui empêche la propagation. Lorsqu'elle est soumise à un effet d'explosion, la traverse devrait rester essentiellement intacte pour la durée nécessaire pour intercepter les projections.

Le stockage cloisonné (comme les cloisons et les traverses internes) et des techniques spécialisés ⁹ peuvent contrôler les effets d'une explosion et permettre l'application des règles présentées dans la DTIM 02 :20 *Quantity and separation distances* en réduisant l'explosion maximale prévisible (MCE) et permettant l'utilisation des QD fondées sur le MCE de la pire hypothèse. La fonction de ce genre de stockage est de retarder, voire entièrement empêcher la propagation rapide d'une explosion entre des objets explosifs séparés de cette manière. Il est possible de concevoir des murs spéciaux pour empêcher la propagation rapide de quantités plus importantes d'explosifs mais le résultat est souvent la perte de tous les biens en raison de dommages considérables aux munitions sur le côté du site exposé de ces murs. Pour cette raison, l'application de ce genre de techniques et de stockage ne devrait être entreprise qu'après un examen et une réflexion détaillée.

⁶ Voir DTIM 01.50 *UN Explosive hazard classification system and codes*

⁷ Voir DTIM 05.30 *Traverses and barricades*.

⁸ Voir DTIM 02.20 *Quantity and separation distances*.

⁹ Voir DDESB Technical Paper 15, *Approved Protective Construction*, Revision 3. US DDESB. May 2010. (référéncé en Annexe B).

Les bâtiments d'explosifs construits en maçonnerie, béton non-armé, bois et similaire, ne sont pas adaptés pour résister aux effets d'explosion externes. Ces matériaux ne sont pas ductiles et une défaillance soudaine sous la charge est probable. Une telle défaillance crée également des débris structurels qui pourraient initier les explosifs stockés à l'intérieur. Par contre, des structures en béton armé (RC) et recouvertes de terre sont spécialement conçus pour assurer un niveau de protection contre le risque d'explosion le plus extrême. Elles protègent également les explosifs et le personnel à l'intérieur de tout risque de fragment et de débris, et diminuent la surpression aux niveaux qui devraient empêcher des dommages et blessures.

En tant que SPE, les structures en maçonnerie et en béton armé seront la cause de débris structurel considérable qui pose un danger considérable aux sites exposés avoisinants.

5.2 Division de risque 1.2

Les munitions de DR 1.2 ne maintiendront pas la propagation. Ainsi, les matériaux de construction habituels comme les structures en béton, couvertes de brique et de terre peuvent être utilisés pour la construction d'entrepôts de DR 1.2. Les portes en bois et en acier doux ne résistent pas aux effets de projections et sont à proscrire. Cependant, cela rendra l'entrepôt inadapté pour le stockage de DR 1.1.

Dans le cas d'une explosion, les munitions de DR 1.2 produiront un éventail de fragments et des munitions éjectées qui sont projetées d'un SPE. Si des données complètes pour un type spécifique de munitions sont disponibles, alors la QD pour les DR 1.2 peut être remplacée par ces données plus précises, en prenant compte de la vulnérabilité de la munition, les munitions et les bâtiments à l'autre site exposé.

Des essais ont démontré que la partie la plus dangereuse des DR 1.2 est les fragments et les munitions éjectées des munitions ayant un QNE > 0,71kg. Ceci comprend les munitions contenant une charge explosive importante et qui peuvent également contenir une charge propulsive ou pyrotechnique. Il n'est pas possible de préciser les QD qui permettent le maximum rayon de vol possible des objets propulseurs, mais le rayon probable des objets emballés en cas d'accident lors du stockage, est typique de cette partie de DR 1.2.

Les munitions qui explosent lors d'un accident fonctionnent rarement telles que prévu, c'est à dire selon leur conception. Dans le cas d'un incendie, l'explosive peut fondre et s'échapper, éclater la douille et ensuite exploser prématurément ou en brûlant jusqu'à l'explosion. Ces explosions peuvent concerner entre 100% à très peu du remplissage selon la quantité de remplissage qui s'est échappée lors de l'éclatement. La fragmentation produite par ce genre de réaction est complètement différente à celle générée lors d'une explosion programmée par sa conception. La douille s'éclate, produisant de gros fragments (2-3 kg par exemple pour une douille de 105mm) mais comparativement peu, avec une vitesse d'entre 10 à 500m/s. Ces fragments sont susceptibles d'être projetés plus loin que les plus petits fragments de l'explosion complète de munitions similaires lors d'une réaction DR 1.1. Des quantités de munitions non-exposées, de sous-ensembles ou de sous-munitions seront projetées très loin et, en raison de dommage thermique ou mécanique, seront dans un état plus dangereux qu'auparavant. Ces objets sont désormais classés comme DR 1.2.1.¹⁰

Des données sur les caractéristiques de munitions individuelles obtenues à partir de tests et d'explosions accidentelles peuvent être utilisées afin de déterminer la validité de l'inclusion d'une munition spécifique dans cette catégorie, ou de le classer dans une catégorie inférieure. Cette partie de DR 1.2 contient les objets ayant une charge explosive et qui peuvent également contenir une charge propulseur ou pyrotechnique. Le teneur total en explosifs de ces objets est de $\leq 0,71$ kg. Il comprendra aussi des munitions qui ne contiennent pas d'explosif brisant et comprendra des munitions et des objets pyrotechniques, et les projectiles inertes. Les essais ont démontré que beaucoup de ce genre d'objets produisent des fragments et des munitions éjectées ayant une portée nettement inférieure à celle des objets en DR 1.2.1. Ces objets sont désignés DR 1.2.2.^{11 12}

¹⁰ Ceci est un classement de l'OTAN et non pas de l'ONU, qui a été adopté comme bonne pratique.

¹¹ Ceci est un classement de l'OTAN et non pas de l'ONU, qui a été adopté comme bonne pratique.

¹² Il existe un autre classement de l'OTAN dans DR 1.2 – DR 1.2.3. Ceci s'applique aux munitions qui démontrent au plus une réaction d'explosion dans les tests de réaction sympathique selon STANAG 4396 et une réaction de brûlure dans les tests d'impact de balle, d'échauffement lent, et de carburant liquide / d'incendie externe selon les STANAGs 4241, 4382 et 4240, respectivement. Ceci n'est pas traité par les DTIM car, à l'exception des membres de l'OTAN, peu de pays possèdent ces munitions.

5.3 Division de risque 1.3

Le rayonnement thermique de la boule de feu produite par le fonctionnement des explosifs en DR 1.3 peut provoquer un autre incendie dans un autre bâtiment de stockage d'explosifs et ainsi entraîner une explosion dans ce bâtiment. Les explosifs les plus susceptibles à produire une boule de feu à effet de masse sont des propergols. Ils produisent une boule de feu avec un rayonnement de chaleur intense, des tisons et des fragments. Les tisons peuvent être de gros bouts de propergol brulants. Il est possible que le vent puisse détourner la partie haute d'une boule de feu, l'éloignant du cœur du feu vers un site exposé. Cet effet de vent pourrait augmenter le rayon de la flamme de 50%. Un bâtiment asymétrique comme un igloo, ou avec un toit et des murs protecteurs, mais qui a des murs ou une porte assez faible, induit des effets directionnels forts des flammes et la projection de paquets brulants.

La faiblesse structurelle d'un SPE peut causer la boule de feu avec des projections. Les matériaux de construction standards tels que le béton et la brique, et les structures recouvertes par la terre peuvent être considérés comme imperméable aux rayonnements thermiques et à l'empiètement des flammes provenant des incendies concernant les DR 1.3. Cependant, les portes en bois et en acier doux ne sont pas résistantes aux effets de feu et sont à proscrire dans la construction.

Comme mentionné à la Clause 4.2 ci-dessus, l'accroissement de pression dans une structure, des sous-produits de gaz générés par l'incendie, peut entraîner l'éclatement de la structure, ainsi générant des débris structurels.

5.4 Divisions de risque 1.4, 1.5 et 1.6

Toute structure sécurisée et étanche peut être utilisée pour stocker des explosifs de DR 1.4. Cependant, tout projet de construction devrait prendre en compte les effets d'autres SPE et les besoins ultérieurs de stockage.

Pour les DR 1.5¹³ et DR 1.6, l'autorité nationale devrait apporter des recommandations de stockage. L'approche sûre cependant, serait de traiter les DR 1.5 comme les objets de valeur qui méritent un niveau de protection élevé à un site exposé.

6 Effets physiologiques d'une explosion

Le corps humain a une tolérance élevée aux explosions, et le degré de blessure subi par un individu est directement proportionnel à la quantité de surpression reçue. L'orientation d'une personne vers le front de choc et la forme exacte du front de choc sont des facteurs prépondérants dans la détermination du type et du niveau des blessures subies. La plupart de décès surviennent suite à la libération de bulles d'air des alvéoles pulmonaires perturbées vers le système vasculaire. La rupture du tympan et les blessures corporelles suite à une propulsion due à la traduction de l'onde de choc sont également très probables.

Il est reconnu au niveau international que les fragments et les débris sont potentiellement mortels si leur énergie d'impact est de ≥ 80 joules (voir la Clause 4.1). A la distance entre bâtiments Habités (IBH), il est attendu que la densité de tels fragments mortels ne dépassera pas 1 par 56 mètres carrés (m^2) à la surface du sol.

6.1 Blessures de la division de risque 1.1

Le Tableau 3 offre une idée des effets de surpression à des niveaux divers et l'effet potentiel sur le corps humain.

¹³ Voir DTIM 02.20 *Distances de Sécurité et de Séparation*.

Niveau de Blessure	Surpression du Souffle Maximum (kPa)
Rupture du Tympan	
Seuil de Mortalité	35
Rupture 50%	100
Lésions Pulmonaires	
Seuil de Mortalité	70
Mortalité 50%	250
Traduction Corporelle	
Seuil de Mortalité	100 -150
Mortalité 50%	400 – 750

Tableau 3 : Niveau de blessure par l'effet de souffle

Les blessures au personnel prévisibles à une DMS spécifique des explosions de DR 1.1 sont résumées dans le Tableau 4.

DMS	Type de DS	Résumé de Blessure
8,0Q ^{1/3}	Distance de sécurité avec les Bâtiments de Traitement des munitions (IPBD)	<ul style="list-style-type: none"> Blessures graves et mortalités par fragments, tisons, débris ou effondrement du bâtiment. Probabilité minimale de blessure grave provoquée par les effets de souffle directs.
14,8Q ^{1/3}	Distance de Sécurité pour une Voie Publique (PTDR)	<ul style="list-style-type: none"> Personnel à l'extérieur ne seront pas gravement blessés par le souffle, des blessures seront occasionnées par les fragments et le débris, dont le niveau dépendra de la construction du SPE et le type de munitions concernées. Personnel dans un bâtiment bénéficieront une protection élevée de mort ou de blessure grave. Toute blessure occasionnée sera généralement provoquée par des fragments de verre brisé et des débris de bâtiments.
22,2Q ^{1/3}	Distances entre Bâtiments Habité (IBD)	<ul style="list-style-type: none"> Les blessures directement imputables aux effets de souffle sont peu probables mais peut se produire en raison de fragments vitrés ou des débris volant ou tombant.
44,4Q ^{1/3}	Distance de Bâtiment Vulnérable (VBD)	<ul style="list-style-type: none"> Les blessures directement imputables aux effets de souffle sont peu probables. Les blessures occasionnées seront dues au verre et au débris qui tombent des bâtiments.

Tableau 4 : Niveaux de blessure estimés

6.2 Blessures de la division de risque 1.2

On ne s'attend pas à ce que le risque total des fragments et des débris à la IBD soit supérieur à un fragment potentiellement mortel ($\geq 80J$) par $56m^2$ de surface au sol. Ce risque est généré sur une longue durée, généralement sur plus d'une heure (voire des jours) après l'explosion initiale. Il ne se produit pas immédiatement car les objets peuvent continuer à réagir/exploser bien après l'incident initial. En raison de cet effet longue durée, les individus ont le temps de s'échapper ou de chercher une meilleure protection du risque de fragment.

6.3 Blessures de la division de risque 1.3

Pour les explosifs de DR 1.3, la IBD est basée sur une dose thermique de $62.8kJ/m^2$. Les occupants des bâtiments habités raisonnablement construits ne devraient pas subir de blessure à moins qu'ils ne se trouvent devant la fenêtre. Ces occupants et toute personne se trouvant au grand air sont susceptibles de subir des rougeurs sur les zones de peau exposées.

7 Dégâts aux bâtiments

Les niveaux de dégâts probables à un site exposé de construction conventionnelle suite à l'explosion de DR 1.1 à un SPE pour des DS différentes sont résumés dans le Tableau 5.

DS	Type de DS	Résumé de Blessure
2,4Q ^{1/3}	Distance de sécurité Entre Magasins (IMB)	<ul style="list-style-type: none"> • Tout bâtiment non-conçu pour résister à la charge du souffle sera certainement entièrement démoli.
8,0Q ^{1/3}	Distance de sécurité entre les Bâtiment de Traitement des munitions (PBD)	<ul style="list-style-type: none"> • Les bâtiments non-conçus pour résister à la charge du souffle subiront des dégâts. • L'initiation directe des explosifs stockés est peu probable mais les effets de l'explosion peuvent provoquer un incendie.
22,2Q ^{1/3}	Distances entre Bâtiments habités (IBD)	<ul style="list-style-type: none"> • Les bâtiments non-conçus pour résister à la charge du souffle subiront probablement des dégâts mineurs, principalement aux vitrages, bardage, etc.
44,4Q ^{1/3}	Distance de sécurité des Bâtiments Vulnérables	<ul style="list-style-type: none"> • Les bâtiments non-conçus pour résister à la charge du souffle sont susceptibles aux dégâts superficiels aux vitres larges et autres bardage légère.

Tableau 5 : Niveaux de dégâts estimés aux bâtiments

Les constructions vulnérables situées entre la IBD et 2 x IBD (la distance de sécurité avec des bâtiments vulnérable) peuvent être endommagées par une explosion. Une évaluation structurelle de l'ampleur des dégâts susceptibles à survenir, y compris la possibilité d'effondrement et la pénétration de fragments ou de débris, devrait être réalisée. Les bâtiments vulnérables situés au-delà de 2 x IBD ne devraient pas être endommagés et aucune évaluation n'est donc nécessaire. Les bâtiments vulnérables sont traités en plus de détail à la Clause 9.2.

8 Types de bâtiments dans les installations de matière explosifs

8.1 Bâtiments a structure légère

Les bâtiments a structure légère sont construits à partir de matériaux légers et fragiles qui ne devraient pas produire beaucoup de projections dangereuses lorsqu'ils sont utilisés comme SPE. En tant que site exposé, cette structure pourrait s'effondrer, mais le débris subséquent ne devrait pas initier les explosifs. Ce type de structure est typiquement un bâtiment de plain-pied, revêtu d'acier doux, d'aluminium ou de fibre de verre ou des matériaux similaires. Les portes doivent être conformes au Tableau 7.¹⁴

Une structure légère offre peu de résistance aux projections à haute vitesse, aux munitions éjectées ou au débris d'une explosion de DR 1.1 et DR 1.2, et du danger d'incendie d'un incident de DR 1.3. En tant que site exposé, les structures légères devraient être barricadées afin de réduire la IMD, et doivent être sécurisé par des barricades si utilisées en tant que Bâtiment de Traitement des munitions.

8.2 Bâtiment à murs moyennement renforcés

Un bâtiment à murs moyennement renforcés a une épaisseur minimum de 215mm de mur plein ou de 280mm de mur creux en maçonnerie, ou de 150mm en Béton Armé (BA) et une dalle de toiture de 150mm en BA. Les portes doivent être conformes au Tableau 7. En tant que site exposée, ce type de structure peut s'effondrer et endommager les munitions stockées à l'intérieur car elle n'est pas conçue pour résister à la surpression. Selon la quantité d'explosifs impliqués, le débris produit par un SPE peut avoir une vitesse suffisamment élevée à initier les explosifs ou à gravement blesser le personnel dans le site exposé. Ce type de bâtiment ne résistera pas à la pénétration de fragments à haute vitesse à un site exposé ou un SPE et devrait être barricadé afin de réduire la IMD.

Un bâtiment à murs moyennement renforcés est relativement efficace pour résister aux fragments et aux objets éjectés d'explosifs de DR 1.2 et offre une protection adéquate au risque d'incendie des explosifs de DR 1.3. En déterminant les DS autres que DR 1.2, un bâtiment à murs moyennement renforcés doit être considéré comme une structure légère.

¹⁴ Ce tableau est extrait de UK MOD JSP 482.

8.3 Bâtiment à murs renforcés

Un bâtiment à murs renforcés a des murs d'une épaisseur minimum de 680mm en maçonnerie, ou de 450mm en béton, et une toiture d'un minimum de 150mm en BA. Les portes doivent être conformes au Tableau 7. Une barricade de réception n'est généralement pas nécessaire car les murs épais exercent cette fonction. Cependant, si les stocks sont vulnérables à une attaque de débris, une autre barricade devrait être mise en place et il faudrait considérer le renforcement de la toiture afin de prévenir une perforation et une épaufrure de la face arrière. Si les portes du bâtiment sont exposées aux fragments d'un SPE, elles devraient être protégées par une barricade.

En tant que site exposé, ce type de bâtiment peut :

- a) empêcher l'initiation des explosifs à l'intérieur en empêchant la pénétration de fragments à haute vitesse, mais il peut également s'effondrer et endommager les stocks car il n'est pas conçu pour résister au souffle ;
- b) être efficace à résister les fragments rentrants et les munitions éjectées des explosifs de DR 1.2, mais uniquement si le toit est en BA ; et
- c) fournir une protection adéquate contre le risque d'incendie des explosifs de DR 1.3.

En tant que SPE, le bâtiment peut intercepter certains ou tous les fragments primaires à haute vitesse, mais la quantité de débris est augmentée par la nature de sa construction.

8.4 Bâtiment recouvert de terre

Un bâtiment recouvert de terre désigne toute structure à l'exception d'un igloo ayant une épaisseur minimum de 600mm de terre sur le toit et qui est recouvert de terre sur les côtés et sur le mur arrière. Les portes doivent être conformes au Tableau 7. La pente de la terre contre les murs dépendra des matériaux utilisés. Une barricade devrait être mise en place pour protéger les portes et les murs qui ne sont pas recouverts de terre et qui sont face à un SPE. En tant que site exposée, ce type de bâtiment se comporte d'une manière similaire à un bâtiment à murs renforcés pour toutes les divisions de risque.

8.5 Igloo

Un igloo est un dépôt de munitions recouvert de terre, comme précisé ci-haut. La structure et les portes sont conçues pour résister au souffle et aux fragments à haute vitesse pour éviter l'initiation ou l'endommagement sévère du contenu à la IMD nécessaire. La structure soutenant pour la couverture en terre peut être construite en tôle d'acier ondulée et BA mais le plus souvent s'agit d'une structure « boîte » en BA. En tant que site exposé, ce type de bâtiment se comporte d'une manière similaire à un bâtiment recouvert de terre, avec l'avantage supplémentaire d'avoir été spécifiquement conçu pour résister au souffle, offrant donc aux explosifs stockés une protection totale contre l'initiation à une IMD réduite. En tant que site exposé, il y a plusieurs catégories de résistance structurelle associées au mur de tête et aux portes, basé sur leur capacité à résister à une pression extérieure spécifique et aux risques de fragments à haute vitesse détaillés aux présentes.

Les portes et le mur de tête ne nécessitent pas de barricade en générale, à partir du moment qu'ils sont conçus pour résister au souffle et aux risques de fragments à haute vitesse. En tant que SPE, un igloo a des DS réduites en raison de l'atténuation du souffle par la terre. Afin d'optimiser l'usage du terrain dans le cas de plusieurs igloos, les igloos devraient être placés côte à côte avec les murs de tête sur une ligne commune. Dans le cas de plus d'une lignée d'igloos, les murs frontaux d'une lignée devraient être face à l'arrière des igloos de la deuxième lignée.

8.6 Baie ou site ouvert

Il est préférable que le sol d'une baie ou d'un site ouvert soit en béton avec tous les liteaux nécessaires bien fixés. Un sol dur ou autre matériel adapté peut être utilisé, mais ce genre de base demandera un entretien constant afin de maîtriser la végétation. Des barricades peuvent être nécessaires.

8.7 Bâtiment de traitement

Un bâtiment de traitement (PB) est un bâtiment ou site dans lequel les explosifs sont fabriqués ou travaillés. Ceci comporte des installations telles que les salles d'essai, les bâtiments de préparation, les ateliers d'explosifs, et toutes les procédures d'entretien et de préparation. L'utilisation d'un type de bâtiment adapté garantit le respect de la DTIM 02 :10 *Introduction aux Principes et Processus de Réduction des Risques de l'ONU (Introduction to risk management principles and processes)* et que tous les employés travaillent à un niveau de risque aussi Bas que raisonnablement Faisable (ALARP).

En tant que site exposé, ce type de bâtiment doit être conçu soit pour survivre et protéger les travailleurs d'une explosion à un SPE, ou pour avoir une distance de séparation relativement large des autres SPE afin de protéger le personnel plutôt que de simplement fournir une protection contre l'initiation des explosifs qui se trouvent à l'intérieur.

En tant que SPE, un PB est classé en fonction de sa construction et les DS sont déterminés en utilisant la quantité totale d'explosifs qui peut être présente à tout moment à moins d'être effectivement uni. En raison de la proximité des explosifs par rapport aux travailleurs au sein d'un SPE, il peut ne pas être possible (sauf pour de petites quantités d'explosifs) d'assurer une protection, et des décès sont à prévoir. Toutefois, le principe ALARP devrait être appliqué chaque fois que cela est raisonnable et réalisable pour réduire le risque.

8.8 Stockage en conteneur

Tout conteneur utilisé pour le stockage, par exemple un conteneur ISO ou similaire, doit être traité comme une pile à l'air libre lorsqu'il est utilisé pour stocker des explosifs. Des barricades peuvent être nécessaires. Voir DTIM 04.10 *Stockage de Terrain et Temporaire* pour plus de renseignements sur les avantages et inconvénients du stockage dans des conteneurs.

9 Bâtiments Habités et SPE

Les bâtiments habités sont ceux contenant des personnes mais pas d'explosifs. Ce terme est utilisé pour les bâtiments utilisés par le public en dehors d'une zone de stockage d'explosifs, mais également pour les bâtiments à l'intérieur de la zone détenue par l'autorité nationale qui pourraient être impactés par un SPE, par exemple, l'hébergement des soldats, les bâtiments administratifs, etc. Tout bâtiment non-habité à l'intérieur de la IBD d'un SPE devrait être conçu pour résister à la surpression prévue et devrait résister aux fragments et aux débris. Pourtant, et exceptionnellement, si le risque de fragments est bas, une structure légère qui s'effondrerait et produirait du débris qui ne blesserait pas gravement le personnel se trouvant à l'intérieur, peut s'avérer un alternatif économique.

Le vitrage dans les bâtiments habités est vulnérable aux effets de souffle même à une distance de 2 x IBD (la ligne violette) où il subsiste un risque de blessure du verre volant ou tombant. Au minimum, la construction et le vitrage des bâtiments occupés impactés par un SPE devraient être conforme au Tableau 6.¹⁵

9.1 Considérations structurelles

Les bâtiments bas construits de manière classique se situant entre IBD and 2 x IBD ne devraient pas subir de dégâts structurels sévères en raison du souffle d'explosion. Le bris de verre et de revêtement léger peut se produire, mais le risque de danger grave aux occupants devrait être minime. Cependant, certains types de bâtiments sont connus pour être susceptibles aux dégâts importants sur le point de la IBD et au-delà et peuvent provoquer des blessures et des mortalités de manière disproportionnée à l'échelle de l'explosion. Ceci peut se produire en raison des matériaux de construction utilisés (ex. des surfaces vitrées importantes) ou du risque d'effondrement total qui pourrait écraser et tuer des occupants qui autrement auraient survécus au grand air ou dans des constructions plus traditionnelles. Le terme « construction vulnérable » est employé pour décrire ce genre de bâtiments et ils méritent une attention particulière lors de la planification de construction des dépôts de munitions et dans le calcul des DS.

¹⁵ Ce tableau est extrait de UK MOD JSP 482

9.2 Construction vulnérable

Les bâtiments de construction vulnérable devraient se situer à au moins $44,4Q^{1/3}$, mais la variation et la complexité des matériaux de construction modernes, les méthodes de construction et les obligations légales nationales et d'usage font qu'il est impossible de définir des règlements universels. Un bâtiment classé vulnérable peut toujours se situer à la IBD normale en cas de faible population ou la prise de mesures afin de protéger la population des risques d'explosion potentiels. Les directives pour les types de bâtiments qui peuvent être considérés comme vulnérable, et les facteurs influençant le besoin de les placer en dehors de la ligne violette d'un SPE, sont les suivants :

- a) Type 1 - la construction a des murs en verre ou autre façade fragile. Les bâtiments de plus de trois étages ou de 12m de hauteur construite avec des façades non-porteuses ayant des surfaces vitrées ou fragiles individuelles de plus de $1.5m^2$ et qui s'étendent sur plus de 50% ou $120m^2$ de la surface d'une élévation. Cette construction est typique des immeubles de bureaux à grande hauteur ;
- b) Type 2 - construction avec mur vitré. Les bâtiments de plus de trois étages ou de 12m de hauteur avec des murs solides et des surfaces vitrées ou fragiles individuelles de plus de $1.5m^2$ et qui s'étendent sur plus de 50% ou $120m^2$ de la surface d'une élévation. Cette construction est typique des immeubles de bureaux à grande hauteur ;
- c) Type 3 - la construction a un toit en verre ou autre matériel fragile. Les bâtiments ayant une surface sur plan de plus de $400m^2$ avec des surfaces vitrées continues ou individuelles de plus de $1.5m^2$ et qui s'étendent sur plus de 50% ou $120m^2$ d'une élévation. Les bâtiments de Type 3 sont typiques de ceux des marchés couverts, les centres commerciaux et les entrepôts de distribution ; et
- d) Type 4 – les structures sensibles. Les structures d'immeuble qui peuvent être susceptible en soi aux dégâts disproportionnés (ex. effondrement, effondrement partiel ou effondrement progressif), y compris ;
 - 1) les structures sans cadre avec une continuité limitée utilisant des matériaux non-ductiles ;
 - 2) les structures de grande envergure, à tension, ou d'autres structures spéciales avec des éléments porteurs critique ;
 - 3) les structures particulièrement faible, telles des bâtiments historique ou avec une ossature bois ; et
 - 4) les bâtiments contenant des éléments vulnérables, tels des fixations de panneaux préfabriqués ou des panneaux fins à grande envergure en maçonnerie qui peuvent être susceptibles à une défaillance et entraîner des chutes de débris.

Comme indication générale, les bâtiments qui se démarquent du cadre habituel des habitations, par leur taille ou leur type de construction, sont à examiner de près. Les bâtiments qui rentrent dans, ou qui sont près des directives de construction vulnérable ci-dessus, ou s'il est soupçonné qu'ils pourraient être particulièrement susceptibles au souffle, devraient être évalués afin d'identifier les risques éventuels.

9.3 Autre bâtiments

Les installations de grande taille de construction ou d'importance notable devraient être examinées afin de déterminer leur classement de construction vulnérable et une évaluation technique doit être réalisée pour chaque site. Lorsque les installations sont évaluées comme construction vulnérable, les installations de taille devraient être situées à une DS d'au moins $44,4Q^{1/3}$. Des exemples :

- a) les grandes usines ;
- b) les immeubles de bureaux ou des résidences à étages ;
- c) les bâtiments publics et les structure de grande valeur ;
- d) les installations d'enseignement de grande taille ;
- e) les hôpitaux ;

- f) les centres de transport comme les ports, les gares, les aéroports, etc.
- g) les réseaux publics majeurs comme les installations d'eau, de gaz et d'électricité ;
- h) les installations de construction vulnérables utilisées pour des rassemblements, comme les salles de conférence et des fêtes, les centre de congrès et les stades de sport ; et
- i) les zones urbaines qui sont largement et intensément développées.

La construction de bâtiments dans une zone d'explosifs habituellement non-habitées, tels les locaux techniques, les sous-stations électriques, les locaux à pompe, etc. devraient être placée et protégée à un niveau à la hauteur de l'importance accordée à la survie de l'installation.

Distance du SPE		Exigences Structurelles	Exigences de Vitrage
DS	Type de DS		
>44,4Q ^{1/3}	Distance de Bâtiment Vulnérable (VBD) (Ligne Violette)	<ul style="list-style-type: none"> ● Conception conventionnelle uniquement. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Simple ou double vitrage acceptable.
<44,4Q ^{1/3}	Distance de Bâtiment Vulnérable (VBD) (Ligne Violette)	<ul style="list-style-type: none"> ● Conception conventionnelle uniquement. ● Construction vulnérable autorisé. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Verre laminé ou filme anti bris autorisés.
<22,2Q ^{1/3}	Distances entre Bâtiments habités (IBD) (Ligne Jaune)	<ul style="list-style-type: none"> ● Structures porteuses en brique autorisé mais les conditions de limitation d'effondrement progressif sont à noter. 	
>16,0Q ^{1/3}	Distance de Soutien Indirect Plus Proche (Non-dur)	<ul style="list-style-type: none"> ● Conception conventionnelle mais dalle BA exigée au toit d'au moins 150mm. 	
<16,0Q ^{1/3}		<ul style="list-style-type: none"> ● Structures porteuses en brique autorisé mais les conditions de limitation d'effondrement progressif sont à noter. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Simple ou double vitrage acceptable. ● Verre laminé uniquement. L'usage du filme anti bris non acceptable.
>14,8Q ^{1/3}	Distance de Sécurité pour une Voie Publique (PTRD)	<ul style="list-style-type: none"> ● Conception conventionnelle mais équipé d'un cadre structurel complet et aussi dalle BA exigée au niveau toiture d'au moins 150mm. 	
<14,8Q ^{1/3}		<ul style="list-style-type: none"> ● Conceptions avec autorisation spéciale. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Solliciter l'avis d'un spécialiste.
>11,1Q ^{1/3}	½ Distance entre Bâtiments habités		
<11,1Q ^{1/3}			
>9,6Q ^{1/3}	Distance de Soutien Direct Plus Proche (Non-dur)		
<9,6Q ^{1/3}			
>8,0Q ^{1/3}	Distance de Bâtiment de Traitement		
<8,0Q ^{1/3}	Installations Spéciales		

Tableau 6 : Conditions de construction pour sites exposés

10 Considérations de conception (NIVEAU 2)

Les considérations de conception suivantes doivent être modifiées afin de conformer aux obligations légales de l'autorité nationale. Pourtant, elles sont à considérer comme de bonnes pratiques et elles respectent les normes les plus strictes des principes de stockage et de sécurité de munitions. Les installations d'explosifs devraient être construites d'une manière à apporter un niveau de protection précise contre les risques d'évènements explosifs accidentels. Le type de structure dépendra du niveau de protection requis et le type et la quantité des explosifs à stocker.

La forme définitive structurelle de l'installation de stockage ou de traitement dépendra de la charge d'explosion prévue qui impactera la structure et la distribution prévue de fragments et de débris déterminera la nécessité de renforcer le toit et les murs et de mettre en place des traverses. Les spécifications de conception de bonne pratique standards internationales ainsi que des plans de construction détaillés sont disponibles en anglais sur le site web du « Whole Building Design Guide » (WBDG) (http://www.wbdg.org/design/ammo_magazines.php).

Cependant il existe des conditions de conception standards à appliquer à tout stockage de d'explosifs, notamment :

- les installations devraient être conçues afin de faciliter le nettoyage et de minimiser les saletés et la poussière le plus possible ;
- il doit y avoir un accès adéquat à l'installation et aux empilements d'explosifs individuels afin de faciliter la vérification et le déplacement des explosifs et de permettre la libre circulation de l'air entre les empilements afin de maîtriser l'humidité ;
- si possible, les fixations et les aménagements devraient être placés de façon à éviter qu'ils soient salis par les Equipements de Manutention Mécanique (mechanical handling equipment (MHE)) ou d'autres équipements. Dans l'impossibilité, les fixations et les aménagements devraient être protégés de manière convenable ;

- d) les appareils électriques devraient être conçus pour tout risque unique qui peut exister, les poussières, gaz ou vapeurs explosifs émis par les procédures réalisées ou le matériel stocké ;
- e) la mise à la terre et la continuité des masses pour contrôler les charges statiques ;
- f) considérations de protection contre la foudre, notamment dans une zone sujette au orage. Une protection paratonnerre peut être incorporée dans la conception de la structure, comme pour un igloo où l'acier d'armature dans tous les murs peut être lié afin de former une barrière protectrice ;
- g) les allées devraient être placées entre les piles et le mur d'un dépôt d'explosifs. Elles devraient être marquées au sol comme zone stérile de façon permanente avec un quadrillage jaune;
- h) les dépôts de munitions devraient être conçus et équipés de manière à ce que la température intérieure ne tombe pas en dessous de 5°C ni dépasse 25°C. Dans l'impossibilité de satisfaire ces conditions de température, un chauffage artificiel ou climatisation conforme aux normes agréées devraient être installés ; et
- i) la zone avoisinant doit être libre de matériaux inflammables. Les broussailles doivent être maintenues à ras le sol. L'herbe doit être très courte dans un rayon de 10m d'un SPE. Les buissons, qui ne présentent pas un risque d'incendie excessif, sont autorisés à l'intérieur de cette distance. Le reste du site doit être maintenu dans un état qui ne présente pas de risque d'incendie.¹⁶

10.1 Bâtiments de protection du personnel (NIVEAU 2)

Les bâtiments nécessaires pour fournir une protection au personnel, tels que les bâtiments de traitement et autres bâtiments habités, à la Distance de sécurité entre Intérieur (IQD) devraient être conçus pour résister aux effets de souffle et la pénétration de fragments et de débris. Les conditions suivantes de conceptions devraient être appliquées :

- a) toutes les considérations de conception devraient être fondées sur un intervalle de confiance de 90% ;
- b) le détournement des éléments principaux de structure de soutien devraient se limiter à des rotations de soutien de 2° ou de détournement d'envergure divisé par 60. Si des plaques anti-éclat en acier doux d'une épaisseur adéquate sont fixées à la face interne des surfaces en BA afin de retenir l'anti-éclat de la face arrière, une rotation de soutien de 4° ou des détournements d'envergure divisé par 03 peuvent être appliqués ;
- c) L'anti-éclat à haute vitesse des éléments en BA ou des membres est inacceptable et devrait être empêché par l'utilisation de plaques anti-éclat. L'anti-éclat à basse vitesse peut être accepté à condition de pouvoir démontrer qu'il n'y a pas de risque pour le personnel ; et
- d) le risque d'éclatement des vitrages doit être basse - voir le Tableau 6 et la Clause 11.11 pour les spécifications des vitrages.

10.2 Conception des structures de relâchement de pression (NIVEAU 2)

La conception de structures destinées à entièrement contenir le souffle et les fragments d'une explosion interne n'est réalisable que pour le stockage de quantités d'explosifs de DR 1.1 très faibles (≤ 10 kg), ou pour des quantités plus importantes d'explosifs de DR 1.3. Les structures conçues pour le stockage d'explosifs de DR 1.3, ou des petites quantités (≤ 100 kg) de DR 1.1 peuvent être conçues pour survivre avec des dégâts limités en incorporant un mur ou une cloison fragile afin de réduire la magnitude et la durée des paramètres de souffle interne dans le cas d'une explosion interne. Cependant, si la construction de ce type de bâtiment est envisagée, il convient de solliciter des conseils spécialisés.

10.3 Matériaux fragiles et leur caractéristiques (NIVEAU 2)

Idéalement, les matériaux fragiles devraient avoir une faible masse, éclater en petits fragments non dangereux pour les SPE, et être suffisamment forts pour résister aux fragments à un site exposé. La mise en place d'une barricade pour protéger un panneau de ventilation contre un impact de

¹⁶ Voir DTIM 02.50 Sécurité Incendie..

fragments annule le besoin pour le matériel d'être résistant aux fragments à un site exposé. Cependant, le mur ou panneau fragile devrait satisfaire les conditions de sécurité.¹⁷ La meilleure méthode, et celle qui est approuvée, consiste à utiliser un système de lames de sécurité dans le panneau de ventilation afin de ne pas compromettre l'opération de ventilation. Ce système a l'avantage supplémentaire d'améliorer la résistance aux pressions de souffle externes. La restriction des flux gazeux à travers la zone de ventilation réduite est à prendre en compte lors de la conception.

La fragilité des matériaux dépend de la force et la masse du matériel employé, mais est aussi influencée par la charge de souffle appliquée. Comme la charge de souffle sur le panneau dans une situation typique de stockage est susceptible d'être importante, les effets de résistance du matériel peuvent ne pas être pris en compte et la fragilité peut être déterminée avec la seule masse du panneau. Cependant, pour les quantités d'explosifs moins importantes, la situation peut être différente et il peut être nécessaire de considérer la résistance du matériel.

Afin de permettre une ventilation adéquate, un mur ou un panneau fragile devrait avoir une masse n'excédant pas 50kg/m² pour la DR 1.3 et 25kg/m² pour la DR 1.1. Il ne devrait pas y avoir une ligne de mire entre les murs fragiles dans un SPE adjacent sauf en cas d'une distance de séparation suffisante pour prévenir la propagation de fragments, de débris ou de propulsions enflammées.

Toute fixation utilisée pour sécuriser les murs et les panneaux fragiles à une structure doivent être conçue pour que la partie fragile s'effondre de la manière souhaitée. L'adéquation des matériaux utilisés pour les éléments fragiles dépendra des facteurs comme la masse, la durabilité et la résistance aux intempéries. Les matériaux suivants sont énumérés dans l'ordre de préférence conseillé :

- a) fibre de verre - un matériel de haute résistance qui génère des petites projections légères à basse vitesse. L'unité de masse dépend de l'épaisseur, mais est typiquement de 2.2kg/m² pour une épaisseur de 1mm ;
- b) contreplaqué - bénéficie d'un rapport résistance/poids élevé, mais si >25 mm d'épaisseur il peut générer des fragments lourds et pointus. L'unité de masse est typiquement d'environ 0.6kg/m² per mm d'épaisseur ;
- c) plaques en fibre de ciment - léger et résistant mais génère des fragments pointus qui pourraient être dangereux. L'unité de masse est entre 2.5 - 3.3kg/m² per mm d'épaisseur ;
- d) tôle d'acier et d'aluminium - masse faible et résistance élevée mais ont tendance de ne pas s'éclater. Ils ont tendance à se déformer mais doivent toujours être considérés comme un risque de projection dangereux. L'aluminium a une unité de masse de 2.7kg/m² per mm d'épaisseur et l'acier 7.8kg/m² ; et
- e) panneaux breveté - un « sandwich » de tôles fines en métal avec un noyau isolant léger tel que styrolène/polystyrène. Ils ont une masse faible et se détachent facilement des fixations en cas d'explosion. Cependant ils se désintègrent mal et peuvent poser un risque de projection dangereux inacceptable. Il faut consulter le fabricant prospectif pour connaître les caractéristiques individuelles de ce type de panneau.

10.4 Munitions soumises aux considérations particulières (NIVEAU 2)

10.4.1. Roquettes et missiles

Sauf preuve du contraire émanant des essais, les roquettes et les missiles doivent toujours être considérés comme étant autopropulseur. Le stockage pour les roquettes et les missiles stockés dans un état de propulsion devraient avoir des murs suffisamment épais pour prévenir leur perforation dans le cas d'initiation accidentelle. Les roquettes/missiles devraient être attachés à la structure ; alternativement, une structure conçue pour résister à la puissance motrice, comme une barricade verticale située le plus près possible au bâtiment, peut être envisagée. Cette barricade doit être suffisamment épaisse pour prévenir une perforation causée par les roquettes et la longueur et hauteur de la barricade devraient sous-tendre à un angle de 10° de l'ouverture de la porte.

L'igloo est la structure la plus adaptée pour le stockage de ce genre de munitions. Les roquettes devraient être positionnées face aux murs du fond ou de côté. Cependant, si les missiles sont face

¹⁷ Voir DTIM 09.10 *Principes et Systèmes de Sécurité*

à la porte, une barricade de porte peut être nécessaire. Les roquettes dans un état non-propulseur devraient être stockées dans les structures adaptées pour la quantité et la DR des explosifs présents.

10.4.2. Stockage d'ogives à charge creuse de DR 1.1

Les essais ont démontré que les ogives à charge creuse produiront une charge creuse s'ils sont initiés, même lors d'un incendie. Le jet sera considérablement moins efficace que l'effet programmé, mais il sera toutefois capable de pénétrer les murs d'une structure de stockage. Les ogives devraient donc être positionnées vers les murs renforcés de terre, ou en direction du sol. Il est préférable d'avoir plusieurs couches discrètes, par exemple des murs creux avec une barricade verticale renforcée avec de la terre, entre les ogives stockées et le champ libre afin de perturber le jet. Plus la charge creuse est large, plus un jet formé sera pénétrant et plus il sera difficile de l'atténuer de manière efficace.

Il n'y a pas de DS spécifiques conseillées pour protéger contre l'effet de charge creuse, même des charges très importantes, car le jet ne représente qu'un seul fragment. Il convient donc d'appliquer les DS de DR 1.1 à condition de suivre les recommandations précitées.

10.5 Construction destinée à contenir les fragments et empêcher le lancement (NIVEAU 2)

La conception de structures destinées à contenir les fragments et empêcher le lancement d'objets DR 1.1 est une procédure compliquée et onéreuse. Il n'est donc pas à envisager sauf dans des circonstances exceptionnelles. Il n'est pas faisable de concevoir une telle structure pour un faible QNE ou si le QNE est divisé en plus petites quantités en divisant les murs qui empêchent l'explosion en masse de tout le contenu dans le cas d'une explosion accidentelle dans un des unités. La conception d'une structure destinée à contenir les fragments et empêcher le lancement d'objets constitue une condition plus stricte que celle de la division des murs pour empêcher la propagation. En cas de besoin d'une telle conception il faut solliciter un avis spécialisé.

10.6 Protection contre les objets projetés (NIVEAU 2)

Les bâtiments de stockage d'explosifs devraient protéger contre la pénétration de débris, des fragments à basse vitesse et les munitions éjectées. Ceci est atteint par une combinaison de distances de séparation adéquates et l'épaisseur minimum de construction listée ci-dessous :

- a) toit - 150mm dalle en béton armé in-situ ;
- b) murs - 150mm en béton armé in-situ ou 215mm de maçonnerie solide ; et
- c) portes - 16mm acier doux ou équivalent ;

Pour protéger contre les fragments à haute vitesse, une barricade ou une couverture en terre devraient être utilisés. Cependant, si cela n'est pas possible, les épaisseurs de matériaux suivants devraient suffire pour prévenir l'initiation des explosifs à un site exposé :

- d) murs - 450mm en béton armé in-situ ou 680mm de maçonnerie solide ;
- e) portes - 50mm acier doux ou équivalent ;
- f) barricade - 2400mm de terre.

Des structures spécialement conçues peuvent être construites afin de protéger contres des risques spécifiques, mais ces structures doivent être conçues par un expert dans la matière.

11 Matériaux de construction

11.1 Terre

Une couverture en terre pour les bâtiments recouverts de terre ainsi que les igloos sont également nécessaires afin de satisfaire les conditions de matériaux listées dans le Tableau 7.

Matériel Descriptif (En ordre de préférence)	Limites de classification ^{(1) (2)}				Conception Pente ⁽⁴⁾ (Selon la mécanique des sols)
	Matériel brut		Matériel fin		
	Taille Maximum de Particule	Maximum Composition (% en Poids : 20 – 75mm)	Amendes maximales Composition (% en Poids : <63 m)	Maximum Composition argile (% en Poids : <2 m)	
Sable Bien calibré	6.3mm	0%	15% ⁽¹⁾	5% ⁽¹⁾	1 :1.5 à 2 (33 ⁰ à 26 ⁰)
Sable Bien calibré en Gravier, Argile ou Silt (non-biologique)	7.5mm	5% ⁽¹⁾	20% ⁽¹⁾	5% ⁽¹⁾	1 :1.3 à 2.5 (37 ⁰ à 21 ⁰)
Remblai Non-Bio ⁽³⁾	Autre matériel non-bio qui remplit les conditions du classement ci-dessus				

Tableau 7 : Matériaux de construction pour les bâtiments recouverts de terre¹⁸

- NOTE 1 Des particules brutes et fines doivent être distribuées de manière uniforme à travers le matériel pour un remblai homogène.
- NOTE 2 Le matériel utilisé devrait avoir un Coefficient d'Uniformité (D_{60} / D_{10}) de 6 ou plus.
- NOTE 3 Des gravats provenant des bâtiments démolis ou tout autre matériel similaire ne doit pas être utilisés dans la construction des traverses en raison du risque d'augmenter le risque de projections.
- NOTE 4 Les conditions de stabilité de la pente sont définies dans cette DTIM : les conceptions de pentes indiquées dans le tableau sont à titre indicatif uniquement et peuvent varier selon :
- Le caractère et la force du sol et des rochers des fondations, et la profondeur à la nappe phréatique ;
 - Le degré de compactage et de préparation de la surface apporté au remblai ;
 - Le contenu des amendes et le potentiel d'érosion des matériaux de remblai ;
 - Le contenu d'humidité de compactage si les matériaux de remblai ne sont pas bien drainants ;
 - La provision de mesures de drainage pour maîtriser les pressions d'eau interstitielles au court/long terme ; et
 - Le remblai renforcé avec des géo-synthétiques, du grillage métallique, etc.

11.2 Béton armé (NIVEAU 3)

Les normes citées dans les données techniques ci-après sont indicatives des spécifications techniques qui peuvent être appliquées par l'autorité nationale technique.

La classe la plus basse de béton armé (BA) autorisée dans la construction d'installations d'explosifs devrait être C35¹⁹ avec une taille nominale des granulats de 20mm. Pour les structures conventionnelles destinées aux explosifs les conditions de renforcement habituelles de l'autorité nationale technique devraient s'appliquer. Lorsque la conception demande la considération des charges dynamiques, il faut également appliquer ce qui suit :

- l'agencement, la qualité et la quantité de renforcement doit garantir la performance efficace des éléments en BA sujets à la déformation de plastique en cas de charge de souffle. Les exigences sont considérablement différentes et plus strictes que celles pour les structures conventionnelles ;
- le renforcement principal et secondaire doivent être en barres d'acier laminé à chaud et à haute résistance déformées à l'équivalent de BS 4449 :2005 + Amendement 2 2009 *Specification for carbon steel bars for the reinforcement of concrete*²⁰ Grade 460 ; et
- l'armature de cisaillement doit être en barres d'acier doux (AD) laminé à chaud à l'équivalent de BS 4449 Grade 250.

Les barres de renforcement laminées à froid et à haute résistance ne doivent pas être utilisées dans les structures destinées aux explosifs en raison des taux de pression et les déformations importantes attendues.

Les quantités minimales de renforcement pour les structures résistantes au souffle sont :

¹⁸ Les conditions sont les mêmes pour les traverses en terre et les barricades. Voir DTIM 05.30 *Traverses et barricades*

¹⁹ Voir ISO 22965 :2007 *Series Concrete*.

²⁰ A présent il n'existe pas de normes ISO à ce sujet, bien que le BS cite l'ISO 15630-1 *Steel rod test methods*.

- d) 0,25% barres principales HRHY chaque face ;
- e) 0,2% barres secondaires HRHY chaque face ;
- f) 0,1% liens AD pour renforcement de compression conçu ; et
- g) 0,4% liens AD pour renforcement de compression nominal.

Le renforcement doit être aménagé pour minimiser les tours, si possible. Si les tours sont nécessaires dans les barres de tension principales, ils doivent être d'une longueur de 72 diamètres pour la force de lien réduite dans le béton fêlé. Le renforcement doit avoir des longueurs d'expansion complètes aux jonctions dalle/mur et mur/mur.

Des liens d'explosion doivent être appliqués afin d'entourer toutes les couches d'acier principales et secondaires pour mieux contenir le noyau de béton, améliorer la réponse dynamique, augmenter la capacité cisailant, et limiter la taille des fragments d'effritement de la face arrière. Les liens doivent être en "U", échelonnés et avoir un espacement maximal de 300mm. Les liens sont à privilégier sur les barres de laçage en diagonal pour des raisons économiques et de praticité de construction. Les liens doivent être suffisamment pliés autour des barres de renforcement aux angles et la longueur minimum de crochet doit être le plus petit entre 20 diamètres de barres chacun ou deux tiers de l'épaisseur de la dalle.

Les liens ouverts conforme au code de forme 77 to ISO 3766 :2003 *Construction drawings - Simplified representation of concrete reinforcement* sont acceptables à condition que la marge du crochet soit augmentée à 40 diamètres. Le bout ouvert devrait être détourné de la source d'explosion potentielle, donc dans la face de tension principale. Les liens fermés conformes au code de forme 79 à ISO3766 sont acceptables à condition que la jambe chevauchée soit placée à travers l'épaisseur de la partie en béton. L'utilisation de code de forme 61 à ISO 3766 et de code de forme 51 à BS 8666 :2005 *Scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete - Specification* ne sont pas autorisés pour utilisation comme blast links.

En générale, le renforcement devrait se faire avec des barres moyennes (jusqu'à 25mm) à centres proches plutôt qu'avec des grosses barres à centre proches afin de mieux contenir le noyau de béton, afin d'améliorer la réponse dynamique et limiter la taille des fragments d'effritement de la face arrière. Les renforcements principaux et secondaires doivent être égaux dans les deux faces des éléments en BA sujets à la charge de souffle afin de prendre en compte les forces inverses de chargement et de rebondissement. Les renforcements dans les éléments en BA doivent être liés afin d'éviter un recouvrement (flashing) latéral/sur le côté. Ceci devrait inclure, au minimum :

- h) les chevauchements de renforcements à souder avec un centre maximum de 2,5m dans les deux faces ; et
- i) tout chevauchement restant doit être attaché avec un fil à chaque intersection.

11.3 Acier profilé (NIVEAU 3)

Les structures en acier profilé nécessaire pour fournir une résistance aux charges de souffle doivent être capables de développer leur pleine capacité plastique lors d'une rotation de soutien, et seules les sections en plastique peuvent être utilisées. Aucun autre type n'est autorisé.²¹

La déformation plastique de pannes structurelles,²² dans les limites permises selon la Clause 10.1 peuvent être utilisées dans le but d'une solution économique. Pour éviter une rupture fragile, les connexions de soutien des membres doivent être « sur-renforcées » et conçues pour résister à la capacité maximale de réaction de soutien de la section sous rotation plastique.

Le grade d'acier utilisé doit rester ductile dans l'environnement de la conception et pour l'éventail de déformations permises donné. BS 4449 Grade 43C est généralement acceptable.

Les composants soudés, les jonctions ou les connexions qui sont porteurs de charge et qui sont indispensables à la survie d'une explosion accidentelle devraient être :

²¹ Pour les immeubles à plusieurs étages, il faut établir les risques d'effondrement progressif suite à une charge de souffle.

²² Défini comme *un membre structurel horizontal entre des poutres pour soutenir une terrasse de toiture.*

- a) soumis à un régime de contrôle non-destructeur approuvé afin de démontrer la compétence des soudures ; et
- b) normalisés après leur fabrication par un processus de traitement de chaleur approuvé afin de réduire la pression dans les zones affectées par la chaleur.

11.4 Briquetage (NIVEAU 2)

Le briquetage dans la construction d'une installation d'explosifs doit bénéficier d'une caractéristique minimum de force compressive de 27.5N/mm^2 dans un mélange de ciment/chaux/mortier sablé de 1 : 1 : 6. Les briques doivent être solides et résistants au gel (ex. Classe de Génie A ou B). Lorsqu'il n'est pas pratique d'obtenir des briques solides, tout creux doit être posé vers le haut et entièrement rempli de mortier.

L'utilisation de blocs en béton peut être une alternative au briquetage uniquement si des briques solides ayant une force compressive minimale de 15.0N/mm^2 sont utilisées. Des blocs de béton ne satisferont pas forcément des conditions de sécurité pour la résistance contre des intrus et peuvent nécessiter des mesures supplémentaires. Alternativement, des blocs creux avec des espaces renforcés en acier et rempli de béton peuvent être considérés. Cependant, si les murs en blocs sont destinés à réduire la pression, comme pour le stockage de DR 1.3, ces mesures ne seront pas autorisées.

11.5 Commentaires généraux sur les matériaux de construction non-spécifiés (NIVEAU 2)

En général, les matériaux inflammables ne doivent pas être utilisés dans les installations d'explosifs et seulement les matériaux non-combustibles seront utilisés pour construire les installations contenant des explosifs. Toute construction doit être étanche et tout composant doit être résistant à l'humidité. La fixation des aménagements aux murs et au toit qui peuvent être sujets aux charges de choc élevées en cas d'explosion doivent être minimisés en raison du risque de débris potentiel qui pourrait survenir des aménagements délogés, à des vitesses potentiellement hautes.

11.5.1 Matériaux résistant aux étincelles et la fixation des aménagements (NIVEAU 3)

Les installations pour le stockage d'explosifs de démolition sensibles aux étincelles ou à la friction ne doivent pas comporter du fer, de l'acier, de l'aluminium ou un alliage d'aluminium exposés contenant plus de 1% de magnésium où ils peuvent rentrer en contact avec des substances explosives. Lorsque les installations sont utilisées pour le stockage d'explosifs sensibles aux étincelles ou à la friction, des granulats « résistant aux étincelles » doivent être utilisés pour les sols et les murs de la construction.

Si la fixation d'aménagements aux murs en béton sujets aux mouvements de choc importants est inévitable, il faut utiliser les ancrages élargissant, ou autres alternatives convenables qui ont démontrés une performance adéquate dans du béton fêlé. Des ancrages à expansion parallèle ne seront pas utilisés dans ces lieux.

11.6 Toitures (NIVEAU 2)

Les toitures des SPE doit être soit toute lourde soit toute légère. Une toiture lourde est définie comme ayant une épaisseur minimum de 150mm en BA ou l'équivalent. Les toitures légères, qui sont habituellement inclinées, doivent être couvertes d'un matériel fragile, ex. fibre de verre ou une tôle en métal légère. Les poteaux en métal sont à éviter, mais les poteaux en bois dur peuvent être acceptables pour les bâtiments moins grands. Pour les toits en béton non-étanche, une finition étanche comme de l'asphalte peut être posée. Si des produits commerciaux sont identifiés ils peuvent être utilisés à condition d'avoir un classement de résistance au feu de la norme exigée. Tout toit doit être aménagé pour évacuer les eaux de pluie vers des sorties ou des gouttières ouvertes.²³ L'option recommandée devrait être des toits lourds pour tous les bâtiments mais la décision du type de toit utilisé dépendra des explosifs à y être stockées et les conditions locales.

²³ L'impact de la neige et de la glace sur la ventilation et le drainage dans les climats très froids devrait être pris en compte.

11.6.1 Fonctions spéciales

Les toits, généralement conçus en association du mur porteur, peuvent être conçus pour des fonctions spéciales, par exemple :

- a) la rétention de fragments et la prévention d'objets éjectés. Les DS pour les bâtiments conçus pour retenir les fragments et les objets éjectés devraient dépendre des spécifications de conception du bâtiment existant. Souvent, les DS réduites en raison de l'incorporation d'un tel toit peuvent être autorisées ;
- b) une barrière contre le souffle, les projections et les objets éjectés ; et
- c) l'exclusion de tisons, de projections et des objets éjectés avec des DS réduites en conséquence. Cependant, cette réduction dépend souvent de la provision d'un toit de protection.

11.7 Sols (NIVEAU 2)

Les charges de conception du sol doivent être suffisantes pour supporter les explosifs et l'équipement de manutention de matériaux (MHE). L'espace de charge d'une palette sera d'environ 10kN/m² de la surface au sol. Dans certaines structures comme les igloos de stockage, des empilements d'une hauteur de jusqu'à 5 palettes peuvent être utilisés qui peut représenter une charge de 50kN/m². Les passerelles et les contraintes d'accès peuvent réduire cette charge au sol moyenne.

Pour garantir l'absence de poussière aux sols, ils devraient être traités avec du silicate de sodium (ICI Grade P84 ou équivalent) ou une substance approuvée similaire. Les sols d'un SPE utilisés pour le stockage ou le traitement d'explosifs de démolition sensibles aux étincelles ou à la friction devraient être recouverts d'asphalte sans gravier, ou d'autres substances approuvées selon la Clause 11.5. D'autres substances sont possibles mais il convient de demander l'autorisation formelle de l'autorité nationale. Certaines installations, notamment les bâtiments de traitement, peuvent nécessiter la pose de sols conducteurs ou antistatiques.

11.8 Murs externes et internes (NIVEAU 2)

Les SPE conçus en tant qu'entrepôts de munitions n'ont pas besoin de décoration intérieure ni extérieure. Dans les climats chauds, les murs externes peuvent être peints en blanc afin de refléter la chaleur. Les murs des bâtiments de traitement devraient avoir une finition lisse, sans fêlures ni fissures, et être recouverts d'une peinture à base d'huile ou lavable. La peinture à base de plomb est à proscrire. Tous les angles devraient être arrondis et les angles des surfaces planes doivent être positionnés vers le bas afin de faciliter le nettoyage. Les spécifications de bardage et d'isolation seront basées sur celles mentionnées à la Clause 11.5 ci-dessus. Il ne faut pas utiliser de l'amiante pour cette fin.

11.9 Drainage (NIVEAU 2)

Tout SPE doit être équipé d'un drainage adéquat. Pour éviter l'infiltration d'eau à travers les ouvertures des portes, la dalle extérieure devrait se pencher vers l'extérieur du bâtiment. Tout drain quittant un site où se trouve des explosifs exposés, comme les bâtiments de traitement ou les laboratoires, devrait être doté d'une trappe adaptée et facile d'accès avec une couverture amovible afin d'intercepter les résidus d'explosifs. Les trappes et les drains doivent être nettoyés régulièrement afin d'empêcher une accumulation de résidus.

11.10 Portes (NIVEAU 2)

La construction des portes peut varier selon le degré de protection des stocks nécessaire des fragments et s'il existe une barricade de porte. Les matériaux des portes doivent remplir les conditions exposées dans le Tableau 7. Les fermetures doivent être conformes aux exigences de la DTIM 09.10 *Principes et Systèmes de Sécurité*

Site Exposé Type de Construction	Dépôt SPE			
	DR1.1 / 1.2	DR1.3 / 1.4	Pas de SPE	Notes
Léger	Comme DR1.1/1.4			
Murs moyennement renforcés (150mm BA ou 215mm brique)	16mm plaque d'acier doux Conditions de sécurité à incorporé dans la conception.	Condition principale est la sécurité des explosifs, suivi par la sécurité physique. Généralement tel que approuvé par DTIM 09.10.	Condition principale est la sécurité des explosifs, suivi par la sécurité physique. Généralement tel que approuvé par DTIM 09.10.	L'autorité nationale imposera les normes de sécurité cependant elles devraient satisfaire le minimum de DTIM 09.10. De même, il convient de

Magasin couvert de terre	16mm plaque d'acier doux Conditions de sécurité à incorporé dans la conception.			noter que les charnières de porte devraient être adaptées à la fonction.
Murs fortement renforcés (450mm BA ou 680mm brique)	50mm plaque d'acier doux. Conditions de sécurité à incorporé dans la conception.			

Tableau 7 : Conditions minimum de construction pour les portes de sites exposés

11.10.1. Portes pare-feu (NIVEAU 2)

Les portes de sortie de secours pour l'évacuation en cas d'incendie, d'explosion ou de toute autre urgence doivent être situées afin de satisfaire les réglementations et obligations légales de l'autorité nationale. Elles devraient également satisfaire les conditions de la DTIM 02.50 *Sécurité Incendie*. Il est proposé d'avoir une distance d'échappement maximum de 9m si un déplacement n'est possible que dans une direction, et de 18m s'il y a plusieurs directions possibles. Aux entrepôts sans possibilité de moyens d'évacuation alternative, comme les magasins recouverts de terre et les igloos, une autorisation peut être accordée pour augmenter la distance maximale de direction unique à 18m.

Les portes d'évacuation ne devraient pas être équipées de serrures, mais devraient avoir un verrou avec un levier type « Bille »²⁴ qui fonctionne par l'application de pression n'importe où sur la porte. Les barres de secours ou des loquets peuvent être utilisés à la place des leviers type « Billes » selon les considérations de sécurité. Une porte d'évacuation peut également être utilisée pour tout accès et peut être équipée d'une serrure approuvée à la place des verrous, pourtant il ne doit pas être possible de fermer la serrure de l'extérieur du bâtiment.

Les ouvertures de porte doivent être de dimensions adaptées à leur fonction et devraient ouvrir vers l'extérieur. Les portes coulissantes, battantes et basculantes sont acceptables. Ces types de portes doivent être dotées de, ou adjacentes à, une porte de secours pour le personnel qui s'ouvre vers l'extérieur.

Une marche d'entrée peut être incorporée afin de protéger les stocks contre la pénétration de saleté ou d'eau. La hauteur de cette marche ne doit pas être excessive et il faut installer des rampes pour protéger du MHE.

11.11 Vitres et autres vitrages (NIVEAU 2)

Le verre volant est la principale cause de blessures lors des explosions. Il devrait être exigé que tout bâtiment habité à l'intérieur de la IBD soit conçu pour résister à la pression du souffle, des fragments et du débris, il est donc logique que tout vitrage soit conçu pour minimiser les risques posés. Un résumé du vitrage nécessaire à la IQD se trouve en Tableau 6.²⁵ Aux DS <14,8Q^{1/3}. Les fenêtres ne doivent pas être face à un SPE ; si c'est le cas, elles doivent être barricadées.

En temps normal, les fenêtres ne doivent pas être autorisées dans les bâtiments d'explosifs. S'il ne peut pas être évité, elles devraient être le plus petit possible et, pour des raisons de sécurité, il ne doit pas être possible de les ouvrir. Lorsqu'il existe les fenêtres qui s'ouvrent, elles seront équipées de grilles de

²⁴ Une bille sur ressort contenu dans un cylindre fixé à une bride.

²⁵ Les informations plus détaillées sur la résistance du vitrage à la charge du souffle se trouvent dans le guide UK Home Office Scientific Development Branch (HOSDB) Glazing Hazard Guide 1997.

sécurité approuvées. Les fenêtres devraient être positionnées hors de la lumière directe du soleil, qui pourrait rayonner sur les explosifs. Si ce n'est pas possible, elles devraient être couvertes ou abritées.

Afin de réduire le risque de fragments d'un SPE et des fragments de verre, une claire-voie²⁶ vitrée devrait être utilisée. Dans les bâtiments d'explosifs occupés, du vitrage bas devrait être conçu pour survivre la surpression afin d'offrir un niveau de protection raisonnable aux occupants.

Les matériaux de vitrage doivent être choisis afin de réduire les blessures subies par les occupants des bâtiments occupés. Les matériaux les plus adaptés sont :

- a) du verre laminé. Le verre laminé ayant une épaisseur minimum de 7,5mm composé du verre trempé avec une inter couche de 1,5mm d'épaisseur en polyvinylbutyral (PVB) a une forte résistance au souffle et ne génère pas des fragments aussi dangereux que le verre trempé ou le verre renforcé. Ce vitrage devrait résister aux UV. L'hubriserie devrait être posée à l'aide de feuilures avec un mastic en polysulphide ou silicone ;
- b) du polycarbonate. Le polycarbonate d'une épaisseur minimum de 6mm, posé dans une hubriserie solide, est un matériel solide et souple avec une forte résistance au souffle. Par rapport à d'autres types de vitrage, il est plus cher, moins résistant aux rayures, se dégrade avec le temps et l'exposition aux solvants comme les produits d'entretien, et peut générer des fragments coupants en cas de rupture. Lors de l'évaluation de risque réalisée avant sa sélection, il faut prendre en compte le fait qu'il est difficile de détecter ces fragments dans le corps humain sur les radiographies. Ce vitrage devrait résister aux UV. Il est plus utile en tant que vitrage secondaire ; et
- c) du verre renforcé (trempé à chaleur maximum). Ce verre est 4 à 5 fois plus solide que le verre trempé et résiste donc aux charges de souffle plus importantes s'il est posé dans un cadre rigide solide. Les fragments générés au moment de la casse sont petits, cuboïdes et moins blessants que ceux du verre trempé.

Du verre normal non-traité ou du verre à fil ne doivent pas être utilisés pour l'IQDI. Si ces verres se trouvent dans des bâtiments existants, ils devraient être augmentés de filme anti bris et des rideaux anti-souffle. Si du verre simple ou du verre à fil est utilisé à l'intérieur, le côté éloigné du SPE doit avoir une protection. Si l'explosion primaire peut arriver de chacun des deux côtés de SPE multiples, les deux côtés doivent avoir une protection. A l'intérieur de $14,8Q^{1/3}$ uniquement du verre laminé ou renforcé doit être utilisé.

11.12 Ventilation et climatisation (NIVEAU 2/3)

Les bâtiments de stockage et de traitement des munitions devraient rester le plus sec et tempéré possible. Pour aider à réduire la condensation, ils devraient bénéficier d'une ventilation naturelle et, si nécessaire, un équipement de déshumidification. Afin d'optimiser la durée de vie des explosifs, il est souhaitable de limiter l'humidité et la température dans un entrepôt ou un bâtiment de traitement. Les conditions idéales sont :

- a) le maintien d'humidité relative entre 50 et 60%. Les niveaux d'humidité au-delà peuvent entraîner une altération des explosifs et les niveaux inférieurs peuvent entraîner des problèmes d'électricité statique pour certains types de stocks ; et
- b) le maintien de température entre 5°C et 25°C. Les températures supérieures pourraient occasionner des dommages aux propulseurs et autres matériel explosif.

Les ventilateurs haut et bas devraient être fournis dans tous les bâtiments et compartiments qui ne sont pas climatisés. Ce ne sera peut-être pas nécessaire dans les compartiments de très petite taille. En l'absence de ventilateurs ou de climatisation, la vérification rigoureuse d'humidité et de détérioration de stocks doit être réalisée régulièrement.²⁷

²⁶ Défini comme un mur haut avec une bande de fenêtres étroites tout en haut.

²⁷ Voir DTIM 06.70 *Contrôle des Installations d'Explosifs*.

Les ventilateurs peuvent être contrôlés de l'extérieur du bâtiment, ou être du type ouvert en permanence, tel en briques ventilées. Ils doivent satisfaire toutes les conditions de sécurité y compris la pose de boucliers en métal adaptés pour prévenir la pénétration de pluie ou de neige. Des rideaux pare-feu avec lien fusible peuvent être exigés pour certains types de ventilateurs.

Afin d'empêcher la pénétration de fragments, les briques ventilées utilisées pour les murs creux en maçonnerie doivent être en quinconce horizontal, et celles utilisées pour les murs en maçonnerie solide ou en béton armé doivent être protégées par des plaques couvrantes en acier doux de 6mm pour protéger la ligne de mire. Les chevauchements sont à prévoir afin de garantir une pose sécurisée.

Dans le cas du besoin d'une ventilation d'air forcée et des ventilateurs d'extraction, ils devraient être installés sur le côté du bâtiment sous le vent. Si nécessaire, des systèmes de rideaux automatiques adaptés avec du petit grillage en métal devrait être utilisé pour empêcher la pénétration d'air lorsque les ventilateurs sont à l'arrêt.

Dans les climats chauds, il faudrait des aménagements spéciaux afin de garder le contenu d'un SPE au plus frais possible par moyen d'un plafond intérieur ou un double toit, et en prolongeant la largeur du toit afin de protéger les murs des rayons directs du soleil. Dans certains SPE ayant une gamme de température critique, il peut être nécessaire de fournir des matériaux isolants ou de la climatisation. Les bâtiments recouverts de terre en surface ou semi-enterrés peuvent être une solution alternative convenable. Il peut également être nécessaire de rajouter des portes avec grille métallique aux portes normales pour assurer une ventilation adéquate du SPE pendant la nuit. Les portes avec grille devraient être équipées de serrures agréées.

Lorsque la climatisation est nécessaire pour respecter des conditions précises d'humidité limitées, le local doit également remplir les conditions nationales et la DTIM 05.40 *Normes de Sécurité pour les Installations d'Explosifs*.

Certains processus peuvent générer un environnement dangereux, comme de la poussière, des gaz ou des vapeurs explosifs, et dans ces cas la ventilation et l'équipement électrique associés doit être conçus pour empêcher l'initiation accidentelle de ces environnements. Ces conceptions devraient être conformes à la DTIM 05.40 *Normes de Sécurité pour les Installations d'Explosifs*.

11.13 Chauffage et réseaux (NIVEAU 2)

Des boucliers de protection devraient être mis en place pour prévenir les explosifs, les dépôts contenant des explosifs, ou leurs conditionnements de rentrer en contact avec une surface chaude, des tuyaux ou des radiateurs. Les boucliers de protection devraient être conçus de façon à ce qu'il n'est pas possible de poser des objets dessus, par exemple, les surfaces en pente.

Les services aux bâtiments de traitements tels que de l'air comprimé et tout local associé, alimentation d'eau, drainage, etc. devraient avoir des tuyaux ou des conduits qui portent ces services et qui doivent être marqué d'un code couleur démontrant leur fonction, et qui sont liés à l'entrée et à la sortie du bâtiment ou du compartiment. Ce code couleur devrait être affiché à l'entrée du bâtiment et à d'autres endroits nécessaires afin d'être clairement compris. Le code couleur devrait être celui approuvé par l'autorité nationale technique.

11.14 Équipement d'élévation (NIVEAU 2)

Les équipements destinés à contenir des stocks lourds ou d'explosifs de démolition devraient soit être équipés d'une grue aérienne manuelle ou une grue électrique, soit la construction du SPE devrait être telle qu'elle permet l'usage des équipements mobiles de manipulation, d'élévation et d'empilement.

11.15 Protection parafoudre

Voir DTIM 05.40 *Normes de Sécurité pour les Installations d'Explosifs*.

12 Exigences électriques (NIVEAU 2)

Ces exigences sont traitées de manière approfondie dans la DTIM 05.40 *Normes de Sécurité pour les Installations d'Explosifs*.

13 Conception contre l'explosion et capacité de survie

La conception des bâtiments sujets aux charges d'explosion et de choc doit être réalisée par des personnes compétentes tel un bureau d'étude agréée ayant une expérience adéquate de la conception contre des explosions. Il n'est pas envisagé d'imposer des réglementations strictes car de par leur nature, elles seront modifiées par l'autorité nationale technique afin de satisfaire les exigences locales et les lois incorporant la validation de la conception. Il est proposé que les critères de survie dans ce document correspondent à la norme minimale exigée.

Annexe A (normative) Références

Les documents normatifs ci-dessous contiennent des clauses qui, par référence dans le présent texte, constituent des dispositions de cette partie du guide. En ce qui concerne les références datées, il ne sera pas tenu compte des amendements ou des révisions ultérieurs apportés à ces publications. Cependant, il serait judicieux que les parties à des accords basés sur cette partie du guide étudient la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-dessous. Quant aux références non datées, l'édition la plus récente du document normatif auquel il est fait référence s'applique. Les membres de l'ISO conservent des registres des normes ISO et EN en vigueur :

- a) BS 4449: 2005[E] and Amendment 2: 2009 *Specification for carbon steel bars for the reinforcement of concrete*. BSI. 2009 ;
- b) DTIM 01.40 :2011[F] *Glossaire des Termes, Définitions et Abréviations*. UNODA. 2011 ;
- c) DTIM 01.50 :2011[E] *Système et Code de Classification des Risques d'Explosion de l'ONU*. UNODA. 2011 ;
- d) DTIM 02.20 :2011[E] *Distances de Sécurité et de Séparation*. UNODA. 2011 ;
- e) DTIM 02.40 :2011[E] *Protection des Installations d'Explosifs*. UNODA. 2011 ;
- f) DTIM 02.50 :2011[E] *Sécurité Incendie*. UNODA. 2011 ;
- g) DTIM 05.30 *Barricades*. UNODA. 2011 ;
- h) DTIM 06.70 :2011[E] *Inspection des Installations d'Explosifs*. UNODA. 2011 ;
- i) DTIM 02.40 :2011[E] *Protection des Installations d'Explosifs*. UNODA. 2011 ;
- j) DTIM 09.10:2011[E] *Principes et Systèmes de Sécurité*. UNODA. 2011 ;
- k) ISO 22965:2007[E] *Series Concrete. (Séries Béton)* ISO. 2007 ; and
- l) ISO 3766 :2003[E] *Construction drawings - Simplified representation of concrete reinforcement (Dessins de Construction - Représentation Simplifiée de l'Armature du Béton*

La dernière version/édition de ces références doit être utilisée. Le Bureau des Nations Unies pour les Affaires de Désarmement (UNODA) conserve une copie de toutes les références²⁸ utilisées dans cette norme. La dernière version/édition des normes, guides et références des DTIM est archivée à l'UNODA et peut être consultée sur le site web des DTIM : www.un.org/disarmement/convarms/Ammunition. Il est conseillé aux autorités nationales, aux employeurs et autres instances et organisations concernées de se procurer une copie de ces textes avant de lancer un programme de gestion des stocks de munitions conventionnelles.

²⁸ Lorsque le droit d'auteur le permet.

Annexe B (informative) Références

Les documents informatifs suivants contiennent des clauses qui devraient être consultées de manière à obtenir des informations de fond sur le contenu de ce guide ²⁹ :

- a) AASTP-1, Édition 1 (Modification 3). *Manuel des Principes de Sécurité de l'OTAN pour le Stockage des Munitions et Explosifs Militaires*. OTAN. 04 mai 2010 ;³⁰
- b) *Manuel des Meilleures Pratiques Relatives aux Munitions Conventionnelles*, chapitre 2. Décision 6/08. OSCE. 2008 ;
- c) Publication de service interarmées 482, volume 1, chapitre 6, *Bâtiments associés aux explosifs militaires*. ROYAUME-UNI. Novembre 2006 ;
- d) DDESB Technical Paper 15, *Approved Protective Construction, Revision 3. US DDESB. May 2010* ; (Document Technique 15 de la DDESB, Construction de Protection Approuvée, Révision 3. DDESB des États-Unis. Mai 2010;) et
- e) UFC-3-340-02, *Structures pour résister aux effets des explosions accidentelles*. Département de la défense des États-Unis. 05 décembre 2008.

La dernière version/édition de ces références devra être utilisée. Le Bureau des Nations Unies pour les Affaires de Désarmement (UNODA) conserve des copies de toutes les références³¹ utilisées dans ce guide. Un registre de la dernière version/édition des Directives Techniques Internationales sur les Munitions est tenu à jour par UNODA, et peut être consulté sur le site Web des DTIM : www.un.org/disarmement/convarms/Ammunition. Les autorités nationales, les employeurs et les autres organismes et organisations intéressés devraient en obtenir des copies avant de lancer les programmes de gestion des stocks de munitions conventionnelles.

²⁹ Des données tirées de plusieurs de ces éditions ont été utilisées afin de rédiger cette DTIM.

³⁰ Bien qu'au stade d'ébauche au moment de rédiger cette DTIM, l'ébauche a été validée lors de la réunion OTAN CASG le 17/18 juin 2010.

³¹ Lorsque le droit d'auteur le permet

Annexe C (informative)

Liste des types de bâtiment de stockage de munitions

Cette Annexe n'a pas pour but de fournir une liste définitive des types de bâtiment de stockage de munitions. Elle a plutôt pour intention d'identifier les différents types de bâtiments et leurs fonctions pour d'apporter des renseignements à l'autorité nationale technique afin qu'elle puisse procéder aux évaluations de valeur concernant le type d'installation requis.

C.1 Igloos (NIVEAU 3) et bâtiments de stockage (NIVEAU 2)

Les Igloos standards sont des structures entièrement préconçues. Ils nécessitent uniquement la conception des fondations et d'autres éléments qui dépendent des conditions du site individuel. Les igloos sont conçus à un niveau de confiance de 90% afin que, en tant que site exposé, une porte ne s'effondre pas lorsqu'elle est exposée à la charge de souffle d'une explosion provenant d'un SPE à proximité à la IMD adéquate. Des modifications considérables apportées à la conception peuvent nécessiter une nouvelle validation complète de la structure. Les plans pour ces structures sont facilement disponibles, et un expert devrait être consulté dans le cas d'un projet de construction.

La déflexion est limitée afin de maintenir l'intégrité structurelle et de façon à ne pas être plus large que la largeur du trou d'air autour des explosifs à l'intérieur, pour éviter que la structure les heurte. Les **inclinaiions de support** de tous les éléments en BA et les portes doivent être limitées à 4° et 12° respectivement.

Afin d'éviter une épaufrure majeure, les vitesses d'épaufrure sont limitées à :

- a) vitesses d'épaufrure >50 ms et une énergie cinétique de $\leq 2500\text{J}$; et
- b) vitesses d'épaufrure <50 ms et un élan de $\leq 100\text{Ns}$.

La construction des igloos standards devrait empêcher l'épaufrure majeure des éléments en BA, cependant il est possible les limites ci-dessus n'empêchent pas l'initiation des explosifs principaux sensibles.

C.1.1 Conception de Charge pour les igloos à un Site Exposé

Les igloos standards sont conçus pour résister aux paramètres de souffle suivants :

- a) Igloo 3 Bars. Lorsque les igloos sont construits avec leurs axes parallèles, il faut prendre en compte les effets d'explosion venant d'un autre igloo qui se trouve côte à côte. La distance de séparation (DEM) D3 est donnée par $0,5Q^{1/3}$. Les paramètres de souffle pour la conception dynamique de la structure de l'igloo sont :

Élément de l'Igloo	Pic de Surpression Positive (kPa)	Impulsion Positive (kPa.ms)	Durée Positive (ms)
Mur de Tête, Portes, Arrière et Murs de Côté	300	$100Q^{1/3}$	$1Q^{1/3}$
Toit	600	$100Q^{1/3}$	$1Q^{1/3}$

Tableau C.1 : Paramètres de conception d'Igloo à 3 Bars

Igloo 7 Bars. Lorsque les igloos sont placés dans le même axe longitudinal, avec le mur de tête et les portes d'un igloo face au mur arrière d'un autre, la distance de séparation (IMD) D4, avant et arrière, est donnée par $0,8Q^{1/3}$. Il ne faut pas placer les igloos de manière à ce que leurs portes

soient en face l'une de l'autre. Les paramètres de souffle pour la conception dynamique de la structure de l'igloo sont :

Élément de l'igloo	Pic de Surpression Positive (kPa)	Impulsion Positive (kPa.ms)	Durée Positive (ms)
Mur de Tête, Portes, Mur Arrière (si la position est inversée)	700	$200Q^{1/3}$	$1Q^{1/3}$
Murs de Côté	300	$100Q^{1/3}$	$1Q^{1/3}$
Toit	600	$100Q^{1/3}$	$1Q^{1/3}$

Tableau C.2 : Paramètres de conception d'Igloo 7 Bars

- c) Un igloo qui n'est pas un vrai arc, type « portique » ou « arc plat » devrait être conçu pour la charge de souffle probable sur la couverture en terre. Chaque élément structurel (toit, mur de côté ou mur de fond) peut nécessiter considération, selon le type et l'orientation de la structure. En raison du manque de données sur la charge sous la couverture en terre, il peut être nécessaire de réaliser la conception en fonction de la pire hypothèse, comme les charges conçues pour le mur de tête et les portes. Les bureaux d'études devraient baser leur travail sur les paramètres de souffle valable à partir des références d'essai citées dans la publication OTAN AASTP-1, Annexes A et B prenant compte du PTE maximum prévu pour l'installation proposée et consulter les autorités nationales en matière de sécurité des explosifs au plus tôt.

C.1.2 Conception de Charge pour les portes d'igloo en tant que Site Exposé

En plus des effets de souffle de la phase positive, les portes d'igloo devraient être conçues pour résister aux charges qui surviennent lors de la phase négative de la charge de souffle. Une pression statique équivalente à 0,5 Bar sur la surface des portes devrait être appliquée dans la conception de la résistance du support. Il n'est pas obligé que les portes restent en place sous la pleine charge d'un rebondissement. Une attaque sur la porte et le mur de tête par des fragments n'est pas particulièrement important à partir du moment que les conditions « finales »³² s'appliquent. Typiquement, les fragments ont une masse de moins d'1kg et une vitesse s'élevant à 300 m/s. Une porte en acier doux avec une épaisseur de plaque de 20mm résistera à la perforation de tous les fragments dans ces limites. Une épaisseur de plaque de 16mm réduira la vitesse résiduelle afin d'éviter une explosion par influence.

C.1.3 Igloo "boite" à baie simple

Il existe plusieurs conceptions, mais s'agit principalement d'une structure portique en BA avec au moins 600mm de couverture terre sur le toit et une couverture terre contre les murs de côté et le mur arrière. La pente de la terre contre les murs dépend du matériel utilisé, mais ne devrait pas dépasser 1 :2 (environ 26°). L'accès se fait par une porte coulissante en acier suspendue par le haut, et une porte en acier pour le personnel, tous deux dans le mur de tête. Les fondations sont en BA avec une dalle porteuse individuelle au sol. Les dimensions internes sont une longueur de 16m, une largeur de 9,12m et une hauteur minimum de 4,6m. La structure est conçue de façon dynamique pour résister aux effets de souffle en tant que site explosé d'une explosion provenant d'un SPE à proximité.

Cet igloo est conçu aux DS correspondantes en tant que SPE et site exposé pour un QNE stocké maximum de 75 000kg de DR 1.1 et jusqu'à 250 000kg de DR 1.2 ou DR 1.3. Il est possible de stocker une QNE plus importante, mais il faut évaluer la conception afin de définir des modifications structurelles éventuelles nécessaires. Cette conception est illustrée en Annexe D.

C.1.4 Igloo "boite" à double baies

³² Les hypothèses où les fonds des igloos se trouvent face à face.

De même, plusieurs conceptions sont possibles. Il s'agit d'une structure en BA comme précédemment, mais la dalle de toiture est soutenue au milieu par une poutre en BA longitudinal à travers des colonnes en BA aux intervalles de ~4 mètres. Dimensions internes : longueur 16m, largeur 18,64m et hauteur minimum de 4,6m. Les limites QNE sont pareilles que pour l'igloo à baie simple. Cette conception est illustrée en Annexe D.

C.1.5 Igloo en arche d'acier

Cet igloo est fait avec du tôle d'acier ondulé avec le mur frontal, le mur du fond et la dalle de sol en BA avec une couverture terre et le même QNE que les autres formes d'igloo. L'accès se fait généralement par une porte glissante en acier suspendue par le haut, mais peut aussi être par des portes à double battantes à charnière. Cette conception est illustrée en Annexe D.

C.1.6 Entrepôts à structure d'acier avec murs moyennement renforcés

Il s'agit d'un bâtiment plein pied à structure en acier avec une mono toiture en BA et des murs périphériques creux en maçonnerie. Cette structure n'est généralement pas conçue pour résister aux charges de souffle. L'accès se fait par des portes positionnées sur le côté. Cette conception est illustrée en Annexe D.

C.1.7 Entrepôt pour des munitions de DR 1.3

Il s'agit d'une structure « boîte » en BA à plein pied avec un mur frontal en partie fragile. Les dimensions globales sont 37m x 16m x 6,2m. Cette structure n'est généralement pas conçue pour résister aux charges de souffle. L'accès se fait par deux portes coulissantes en acier suspendues par le haut et positionnées dans l'élévation frontale. Ce genre d'entrepôt est illustré en Annexe D.

C.1.8 Entrepôt pour stocker les munitions de l'unité

Il peut être un bâtiment de plein pied, compartimenté avec un toit plat. Les dalles de toiture et de sol sont en BA, soutenues sur les murs creux traversant extérieurs en maçonnerie solide. L'accès à chaque compartiment se fait par des portes doubles à l'avant. Pour des raisons de sécurité, le mur intérieur devrait être fait en briques, et non pas des blocs, sauf autorisation par l'autorité nationale technique. Ce genre d'entrepôt est illustré en Annexe D.

C.2 Bâtiments de traitement de munitions (NIVEAU 2)

Il existe de nombreux types de bâtiments de traitement adaptés à la fabrication, l'entretien et le contrôle de munitions. Les principes de conception exposés dans cette DTIM devraient être pris en compte lors des constructions neuves. Malheureusement, des bâtiments plus anciens de ce genre n'ont pas été conçus pour résister à la charge de souffle, et la protection contre des missiles à haute vitesse consiste de barricades ou de murs lourds faisant office de barricades, associés à un toit protecteur. Cependant ce genre de bâtiment n'est pas adéquat car le poids du débris de la structure au moment de l'effondrement entraînerait des blessures graves pour les occupants. Ces bâtiments sont illustrés en Annexe D.

C.2.1 Bâtiments de traitement de munitions à usage général

Ce bâtiment est conçu pour le montage et l'entretien d'explosifs. L'agencement du local technique, du vestiaire, du bureau etc. devrait être modifié selon les besoins spécifiques de chaque bâtiment. La construction consiste d'une structure et des dalles en BA avec un vitrage en claire-voie et des murs extérieurs creux en maçonnerie. Les Bâtiments de traitement de munitions (APB) devraient être conçus de façon à être facile à adapter au niveau fonctionnel. Cependant, un bâtiment de traitement spécifique peut être nécessaire pour satisfaire un besoin spécifique comme la surveillance de gros missiles. Les APB devraient toujours être barricadés. En tant que site exposé, ou si du personnel non-impliqué dans l'activité de traitement est exposé à un risque de blessure, la conception doit leur apporter une protection raisonnable et praticable.

C.2.2 Bâtiments de traitement de munitions à usage spécial

C.2.2.1 Complexe d'armes intégré (NIVEAU 3)

Ces installations sont conçues pour le montage, l'entretien et les essais de missiles, de torpilles et d'autres systèmes d'armes complexes.

L'exemple en Annexe D consiste de quatre Salles de Montage et de Contrôle d'Armes (WACR) positionnées en forme cruciforme autour d'une Maison d'Essai d'Équipement (TEH) centrale et deux locaux techniques indépendants. La construction spécifique est à déterminer selon les paramètres de souffle d'une quantité d'explosifs donnée dans un WACR et devrait être conçue pour apporter une protection raisonnable aux travailleurs dans les WACR adjacentes et une protection plus élevée au personnel dans la THE. Cette conception particulière a été validée par des essais.

La THE est une construction en boîte de BA, séparée de la construction des WACR afin de réduire le transfert de choc en cas d'explosion. La TEH est protégée par des portes lourdes résistantes au souffle, activées mécaniquement et encastrées, et il n'y a pas de fenêtres. Cette conception protège à la fois les occupants et l'équipement d'essai.

Chaque WACR a trois murs épais renforcés en béton, faisant office de barricade. Les dimensions intérieures sont d'environ 24,5m de longueur x 10,5m de largeur x 6,6m de hauteur. Le toit et le mur frontal sont conçus comme des ventilations légères et fragiles, et le mur frontal est également doté d'une barricade verticale en BA. Les deux murs de côtés ont des espaces de ventilation d'écoulement. Une porte de secours pour le personnel se trouve au fond de chaque WACR avec une barricade de porte extérieure.

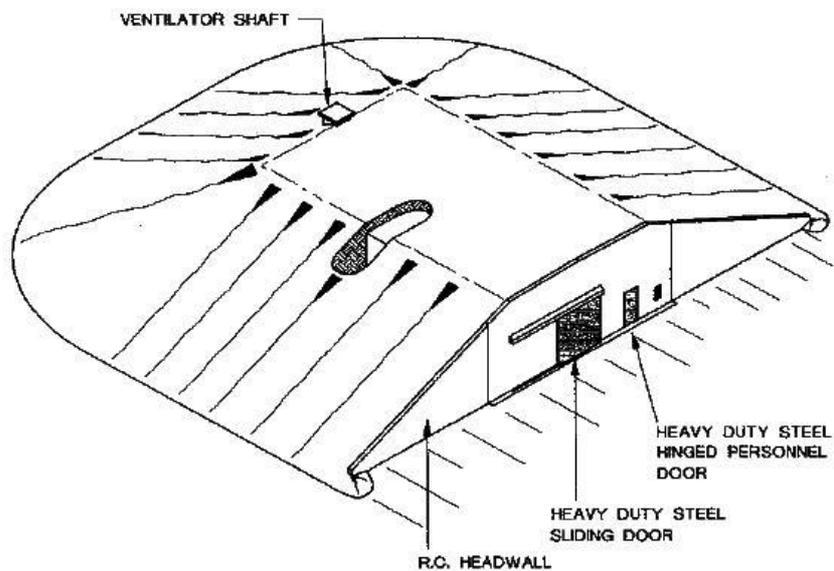
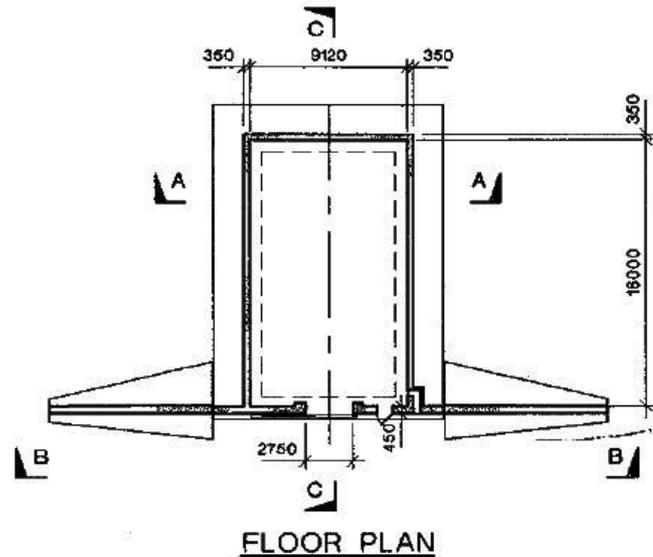
C.2.2.2 Magasin et atelier d'armes guidées (NIVEAU 2)

Il s'agit d'un bâtiment plein pied en structure BA avec une dalle de toiture plate en BA, des panneaux de murs creux en maçonnerie, ayant des dimensions de 19,0m x 9,7m x 3,7m. Il permet le stockage et le traitement d'armes guidées à forte valeur et l'équipement de contrôle associé dans un bâtiment prévu pour leur traitement et enlève le besoin de modifier des bâtiments de traitements normaux pour effectuer une activité de missile et ensuite le modifier à nouveau pour effectuer des activités de munitions conventionnelles. Ce bâtiment est illustré en Annexe D.

Annexe D (informative) Schémas de bâtiment de stockage de munitions

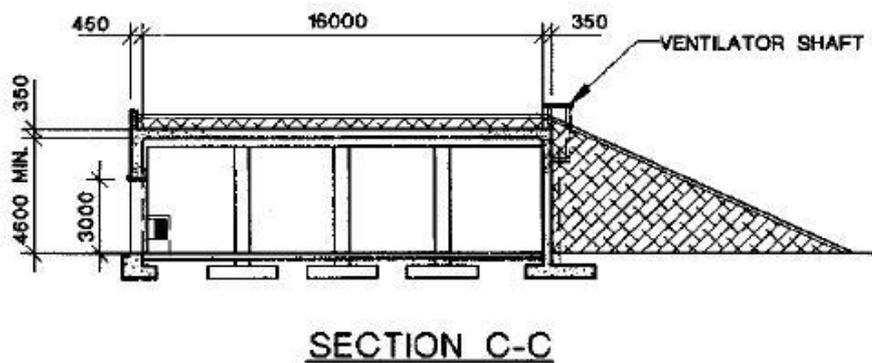
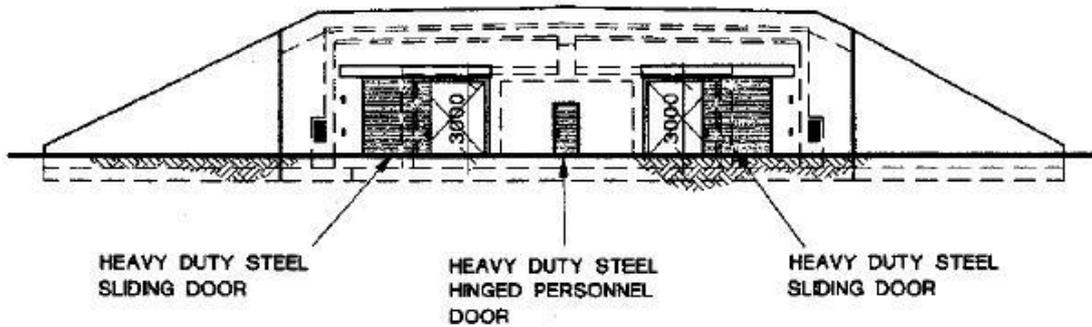
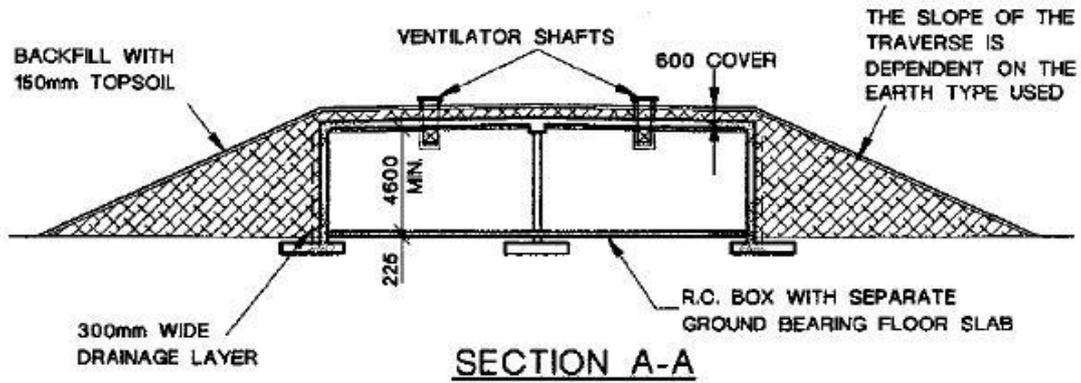
Tous les schémas sont extraits de la Joint Service Publication 482, Volume 1, Chapter 6, *Buildings Associated with Military Explosives*. (Publication de service conjoint 482, volume 1, chapitre 6, *Bâtiments Associés aux Explosifs Militaires*)

D.1 Igloo, baie simple

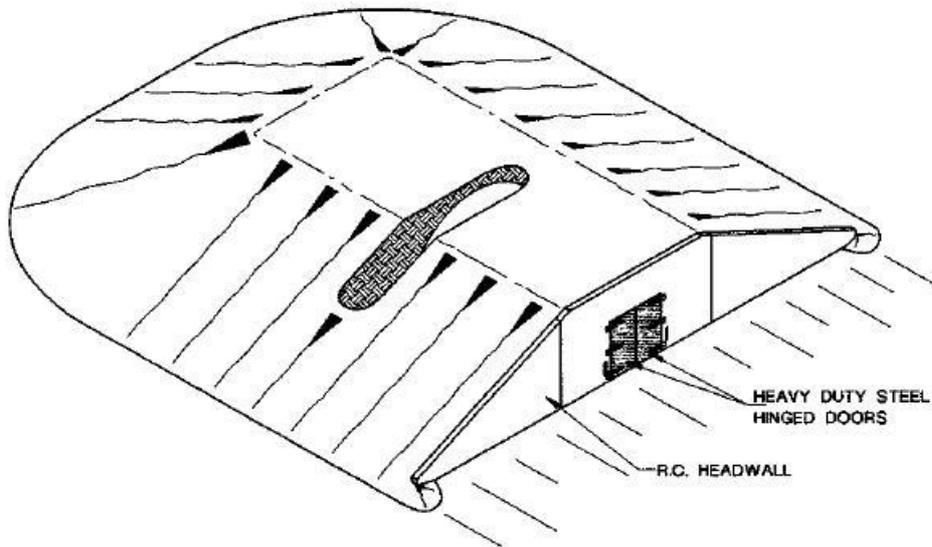
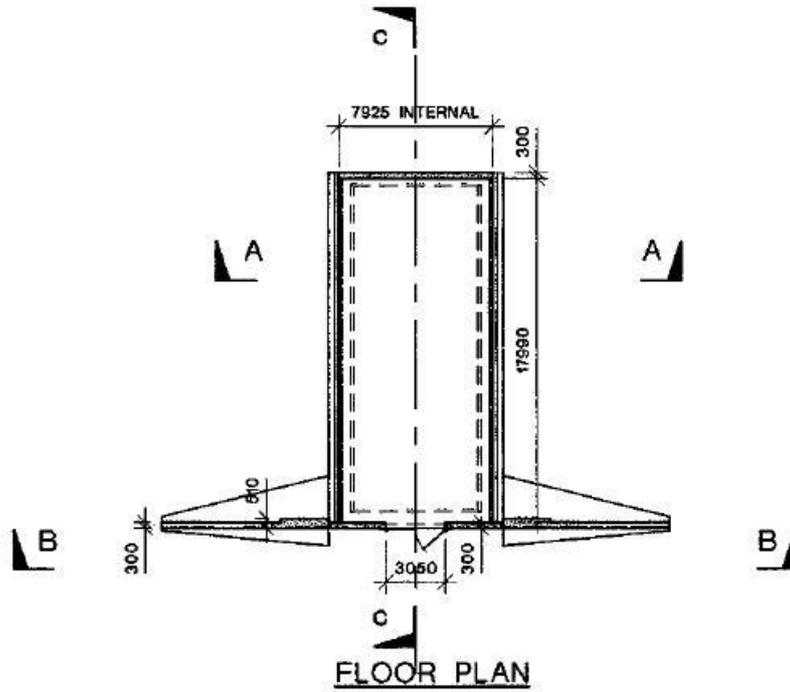


STORAGE CAPACITY: 4 x 10 x 3 HIGH = 120 STANDARD NATO PALLETS
EXPLOSIVE LIMIT: 75,000 kg, TNT EQUIVALENT
INTERNAL DIMENSIONS = 9120x16000x4600 = 67.0 m³ VOLUME

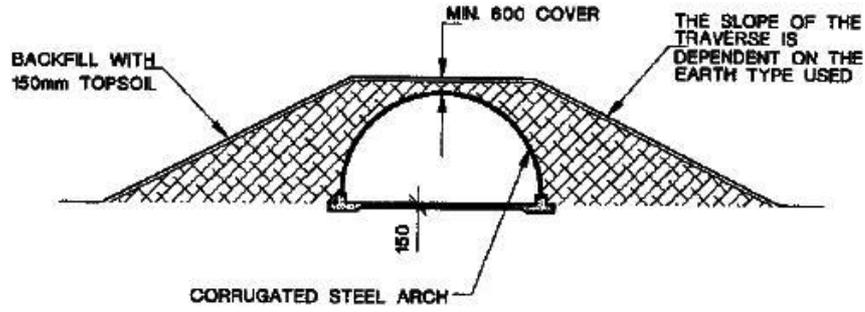
D.2 Igloo « boîte » baie double



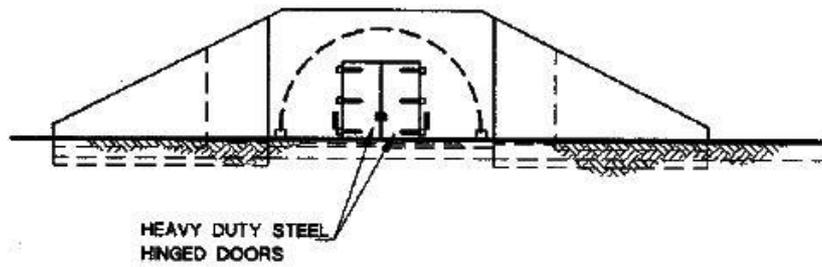
D.3 Igloo à arc en acier monticule de terre



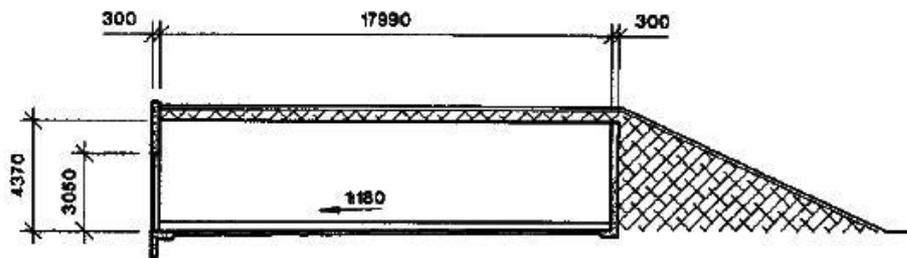
INTERNAL DIMENSIONS = 7925x17990x4370 MAX. = 501 m³ VOLUME



SECTION A-A

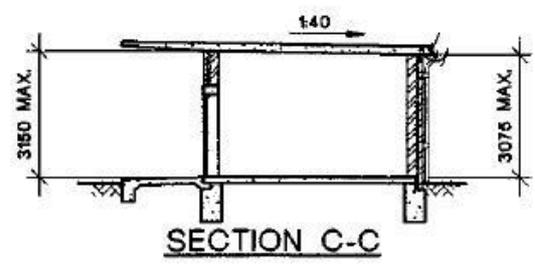
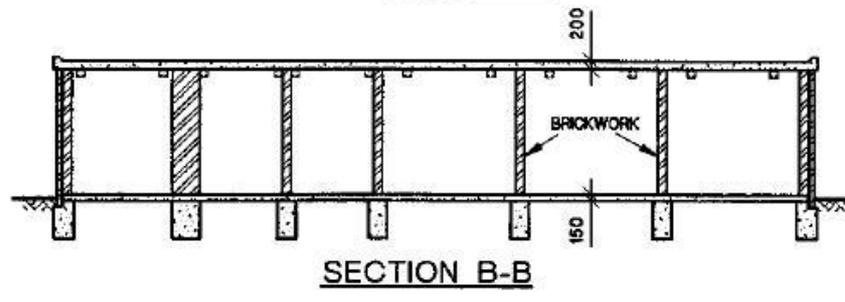
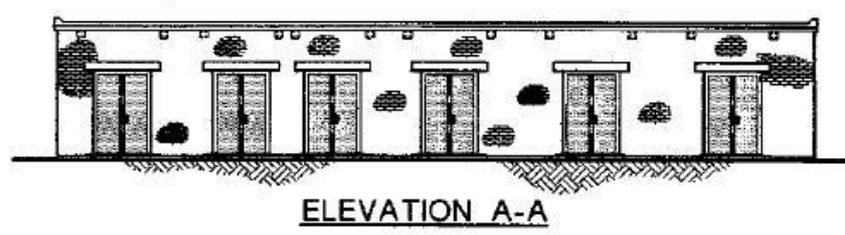
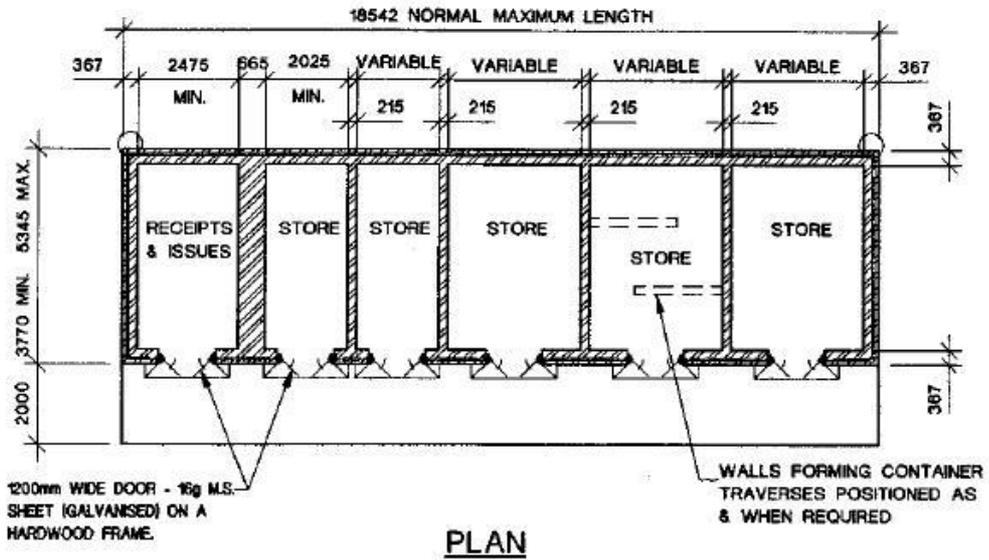


ELEVATION B-B

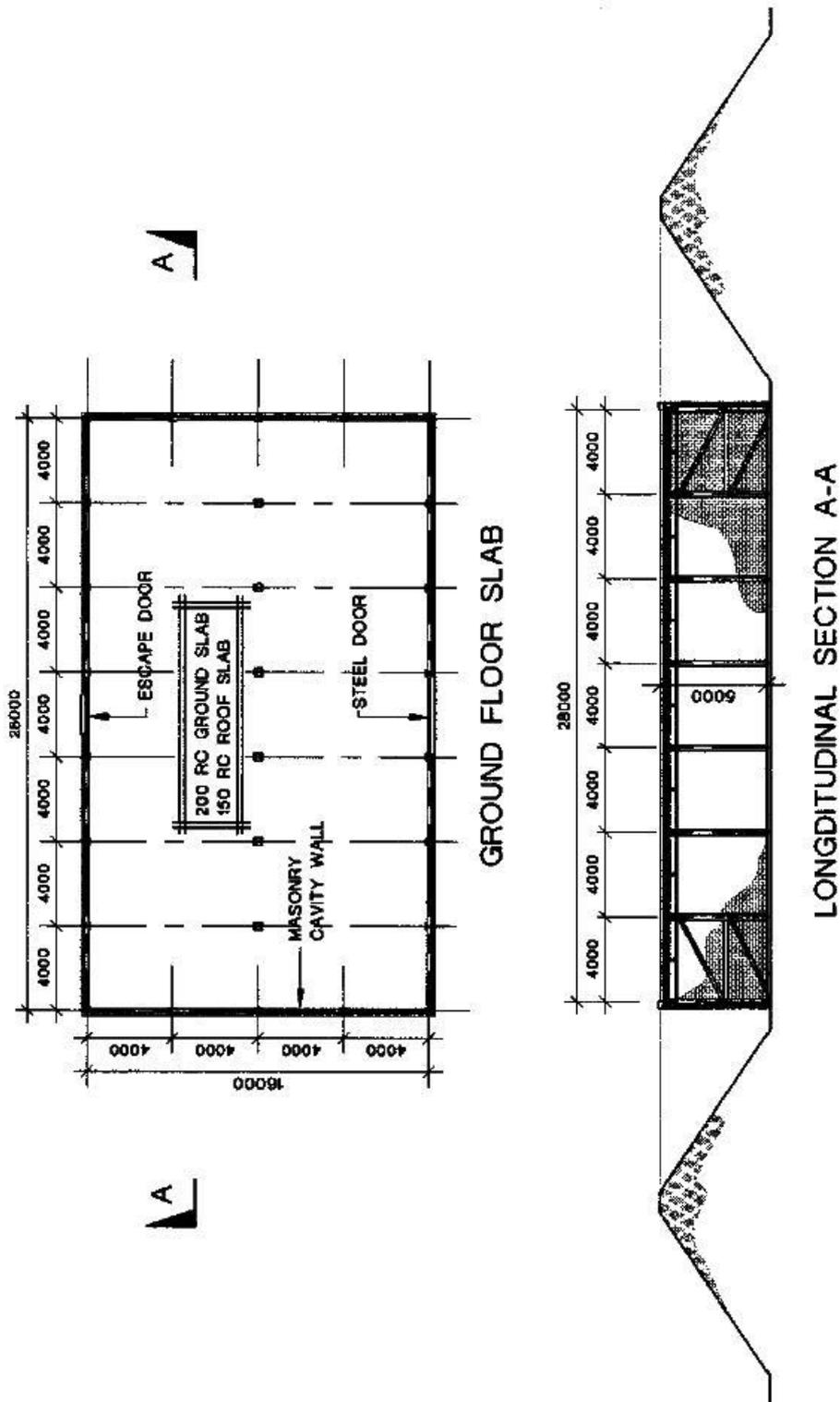


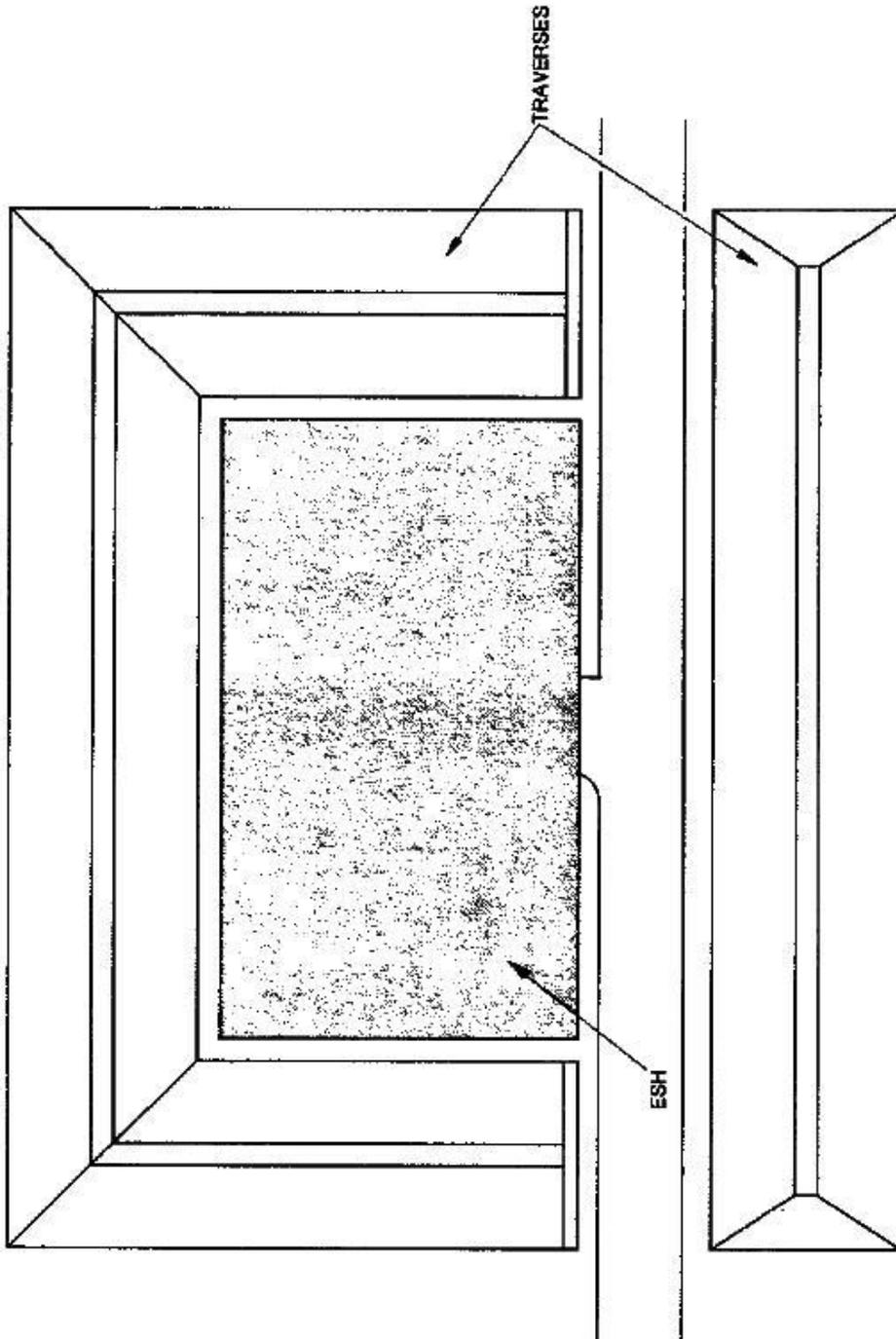
SECTION C-C

D.4 Petit magasin pour stockages de l'unité



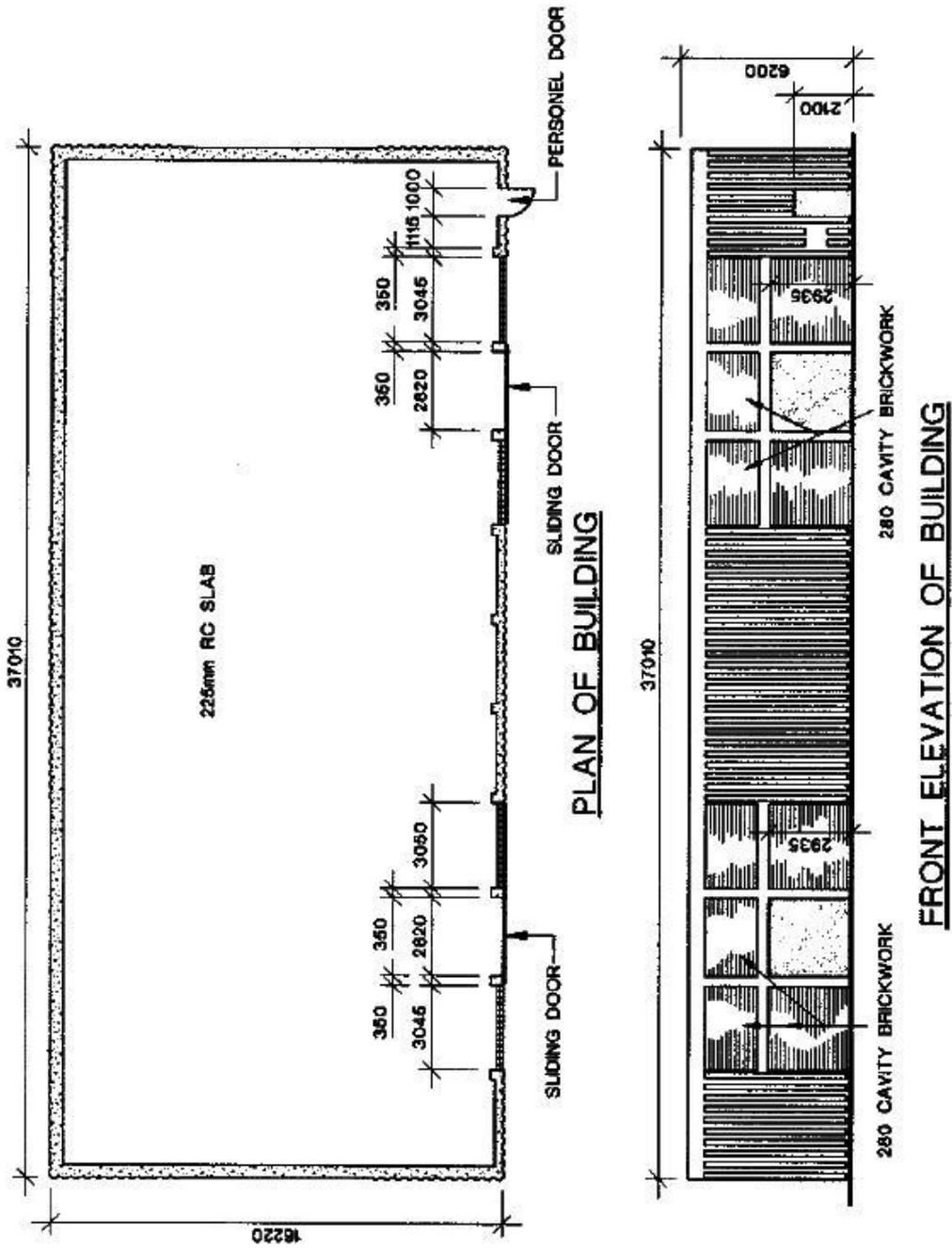
D.5 Entrepôts à structure d'acier avec murs moyennement renforcés

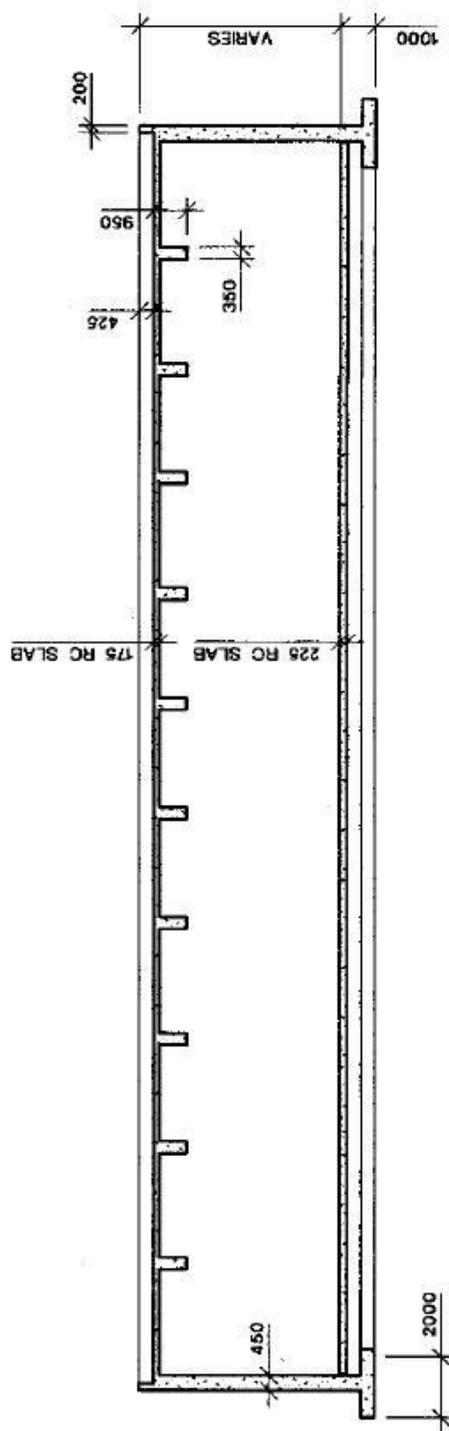
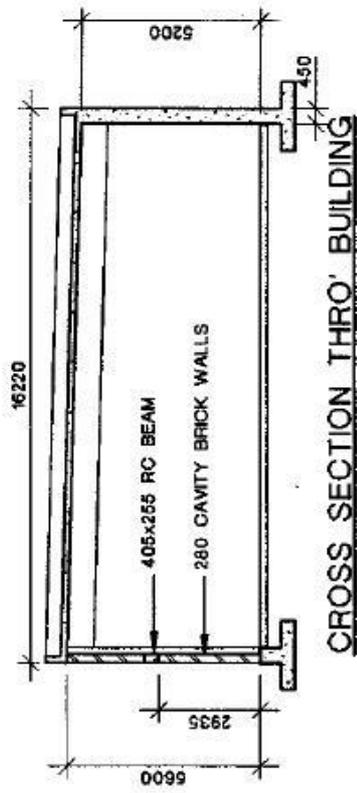




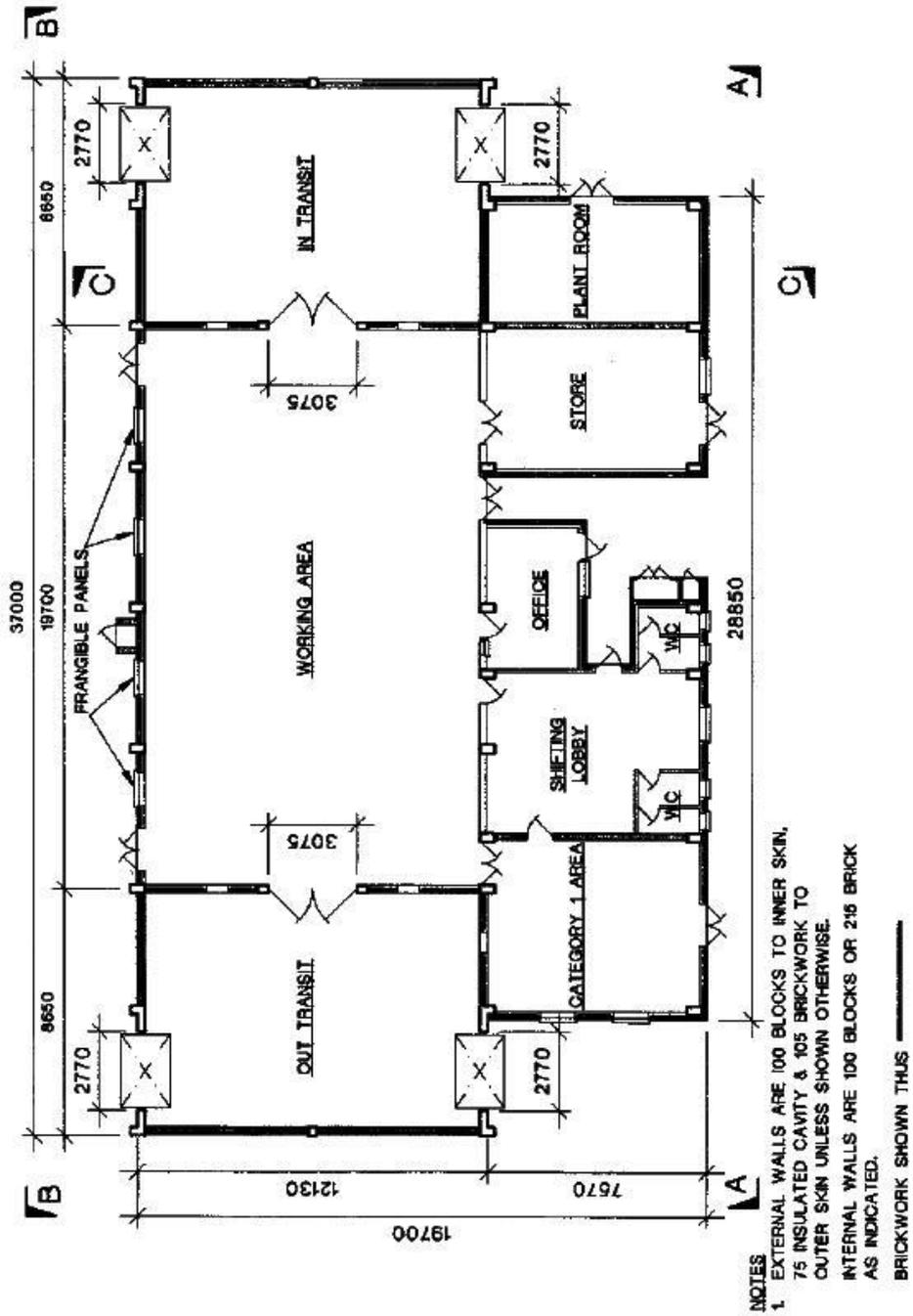
LAYOUT OF STOREHOUSE

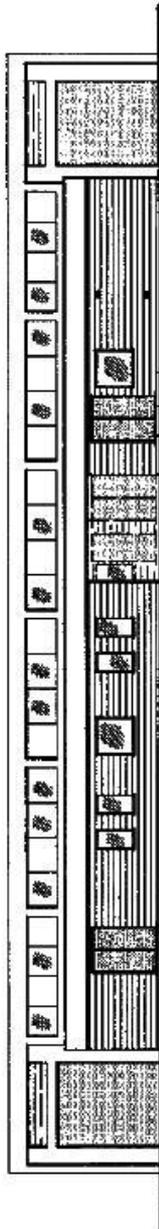
D.6 Entrepôt pour les explosifs de DR 1.3



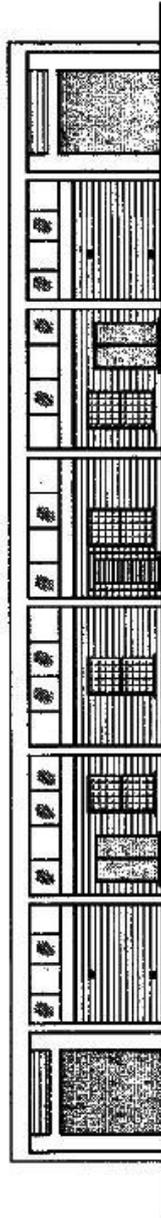


D.7 Bâtiment typique de traitement de munitions

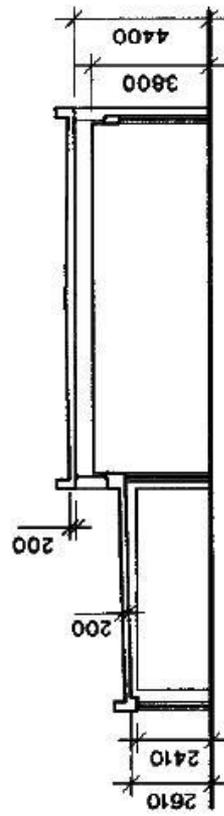




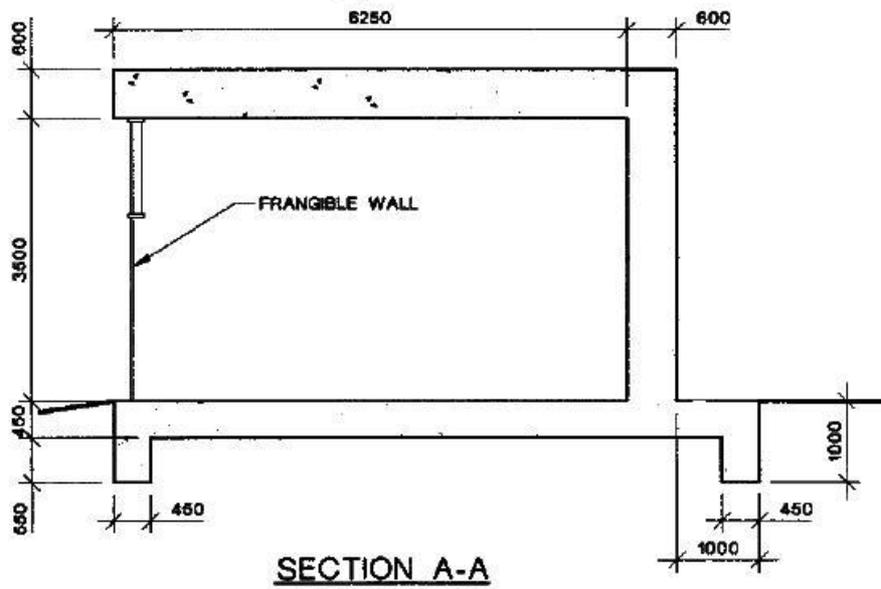
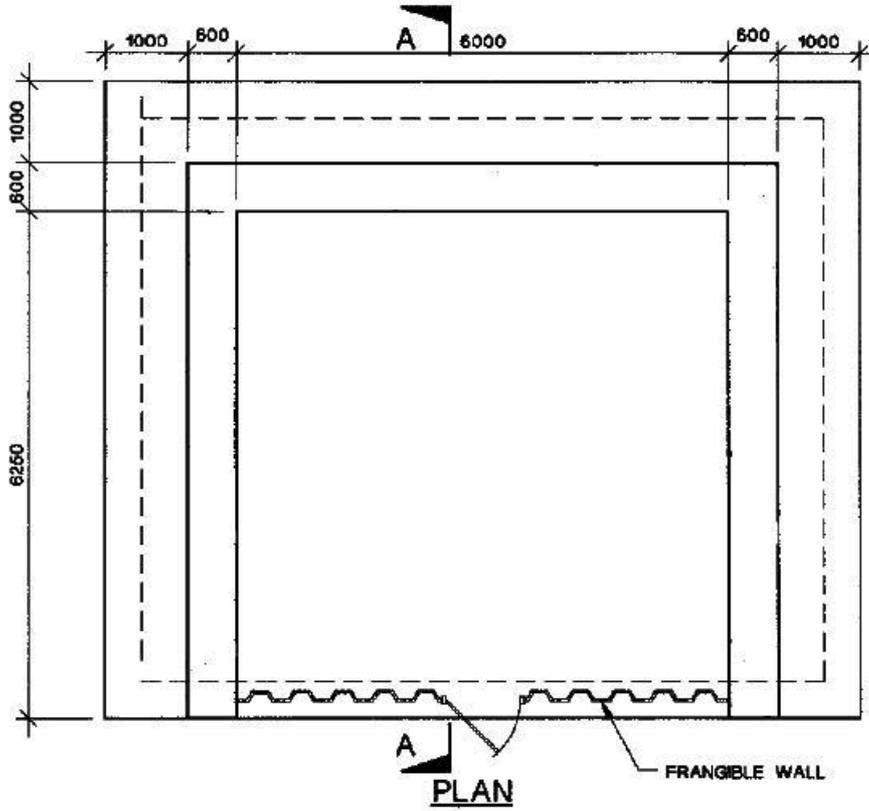
ELEVATION A-A



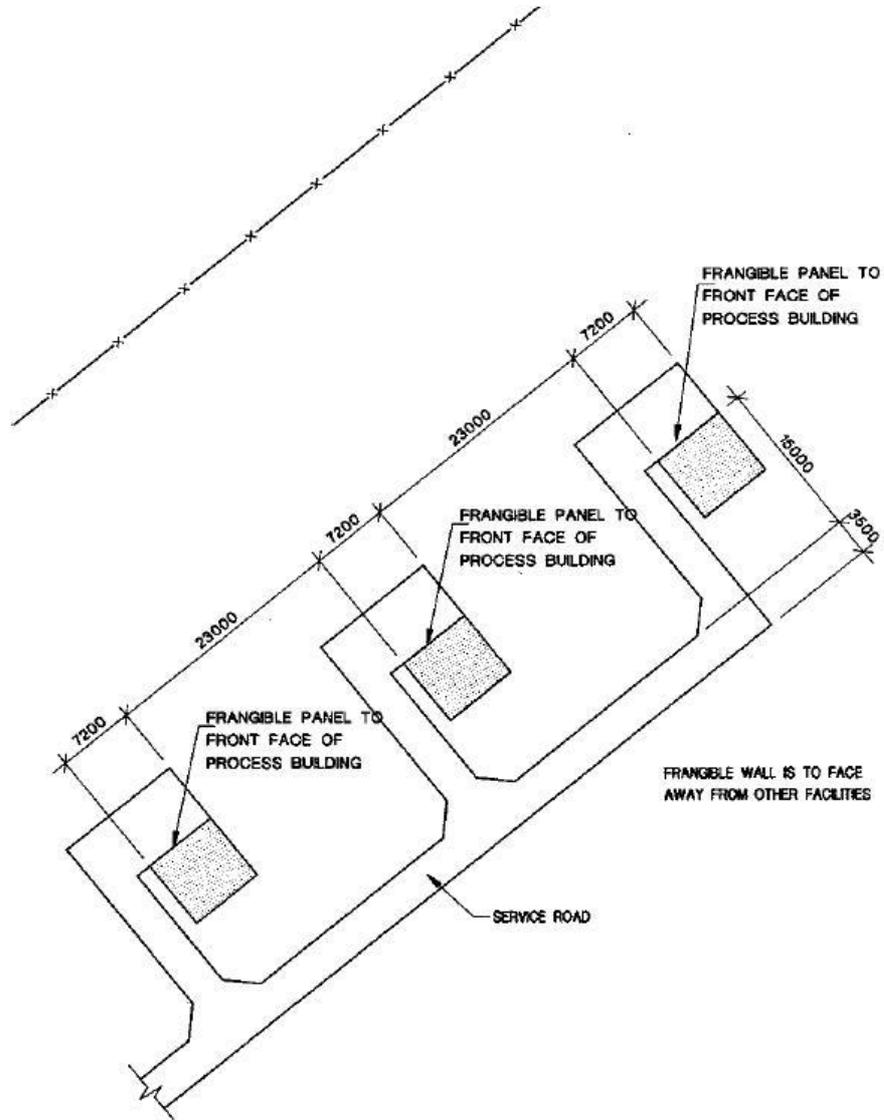
ELEVATION B-B



SECTION C-C

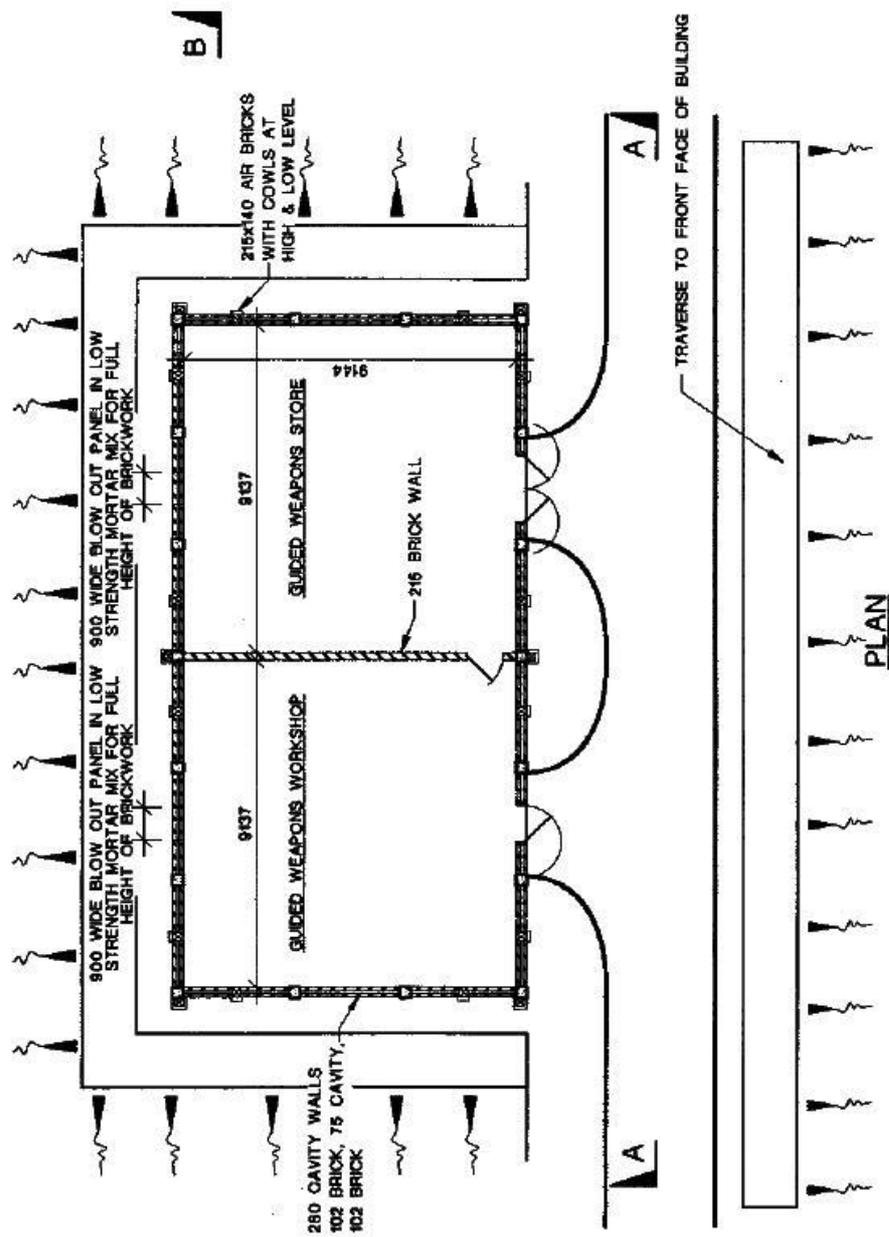


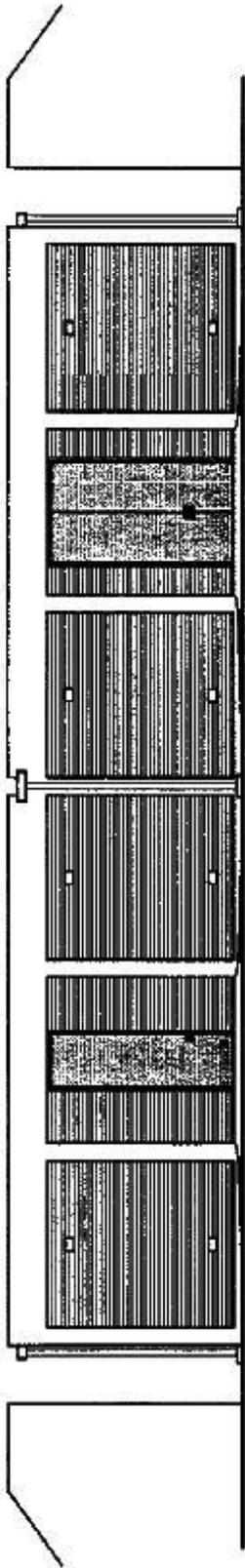
D.8 Bâtiment de tests de munitions



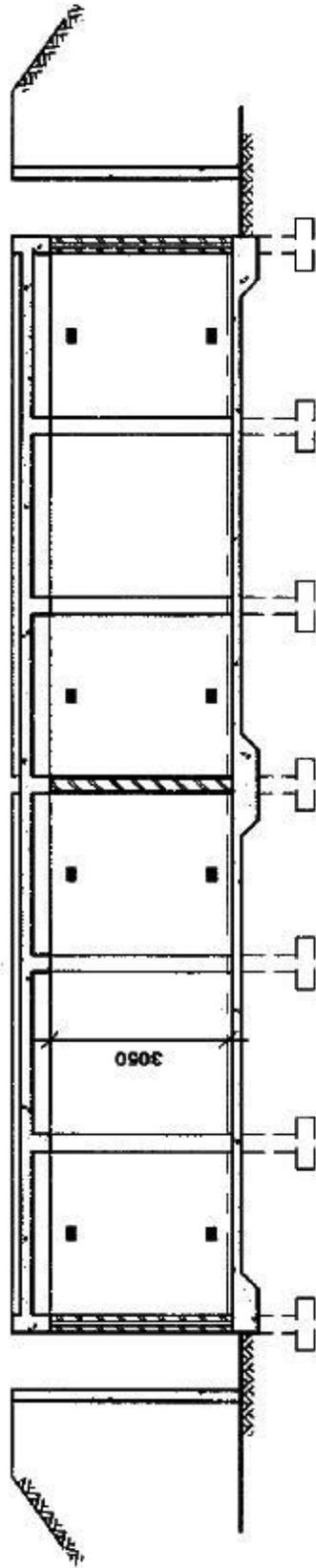
LAYOUT OF A TYPICAL FACILITY

D.9 Magasin et atelier d'armes guidées



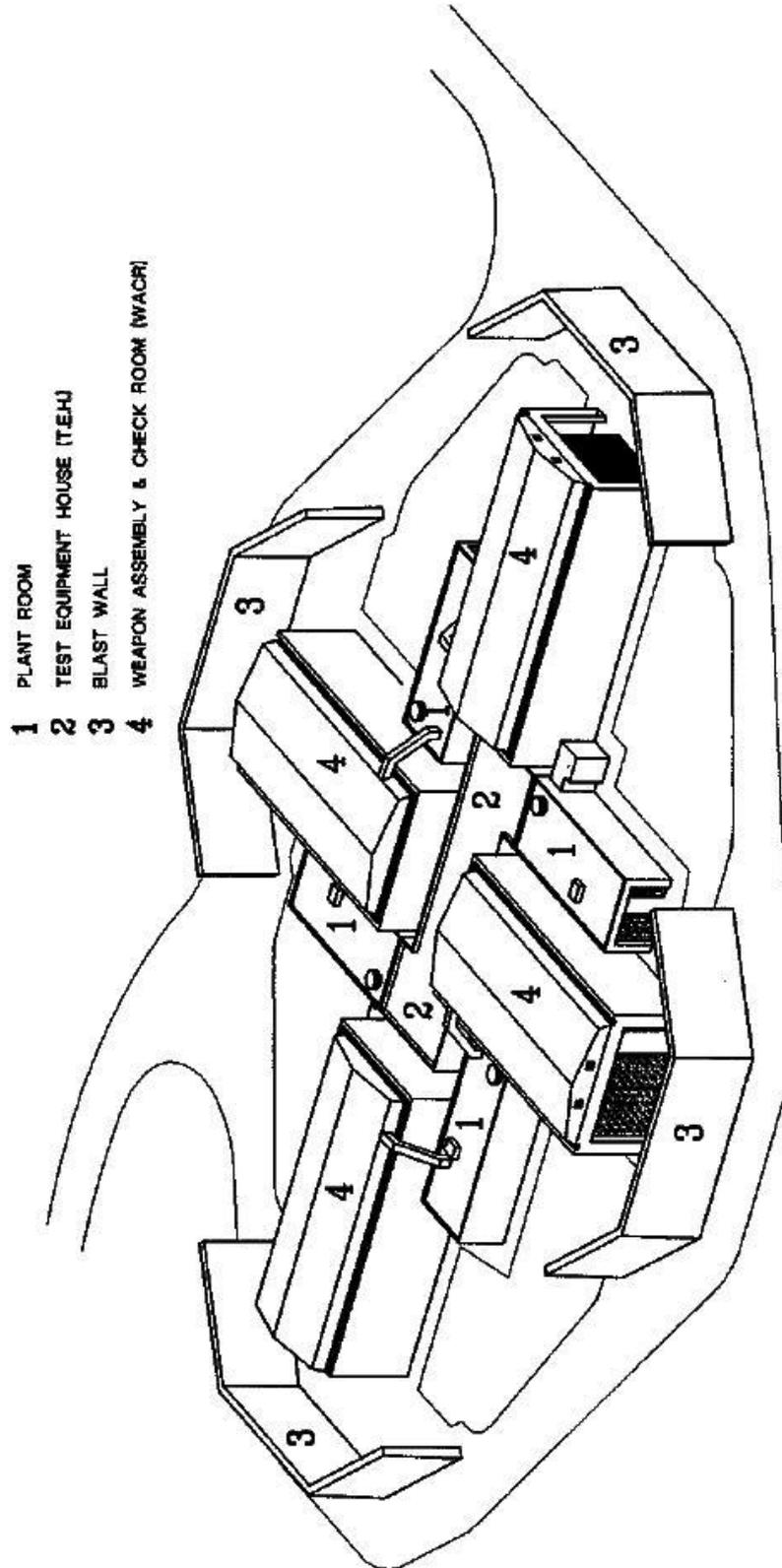


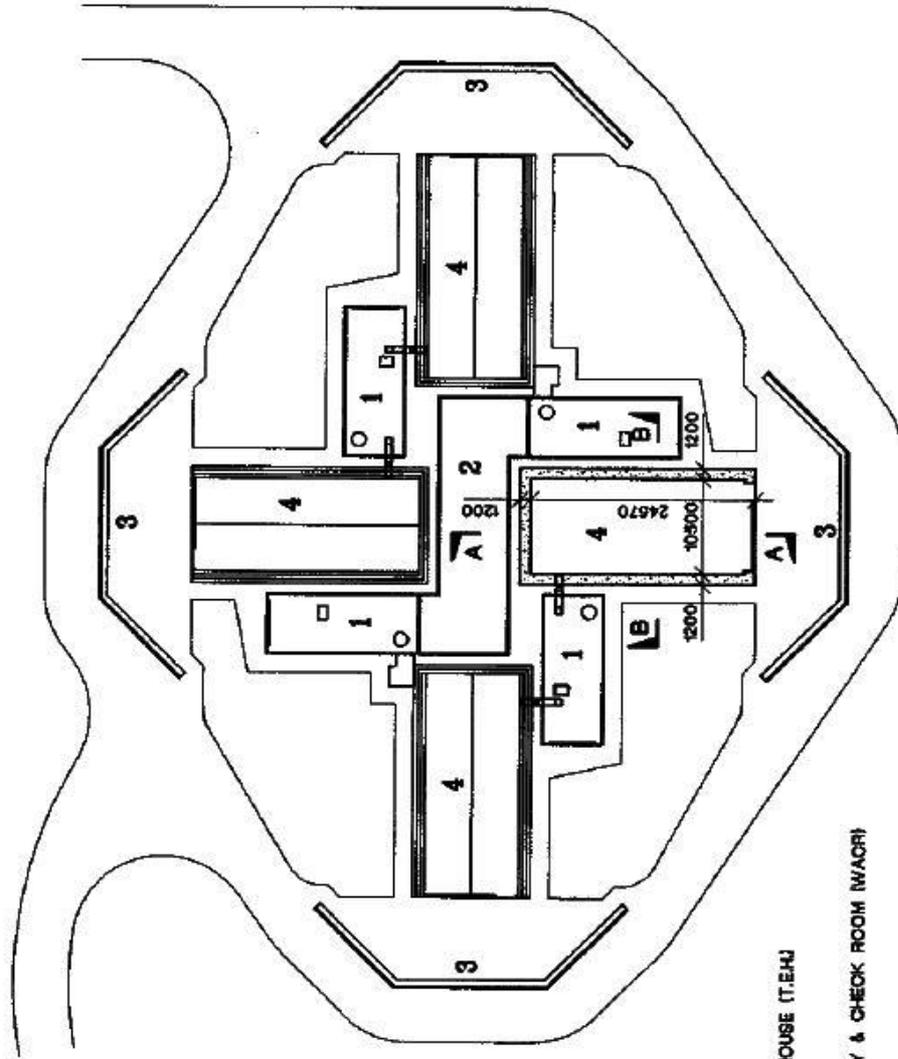
ELEVATION A-A



SECTION B-B

D.10 Complexe d'armes intégrées





- 1 PLANT ROOM
- 2 TEST EQUIPMENT HOUSE (T.E.H.)
- 3 BLAST WALL
- 4 WEAPON ASSEMBLY & CHECK ROOM (W.A.C.R.)