

DIRECTIVES TECHNIQUES
INTERNATIONALES SUR LES
MUNITIONS

DTIM
01.80

Deuxième édition
01-02-2015

Formules pour la gestion des munitions

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

Tables des Matières

Tables des Matières.....	i
Avant-propos.....	iv
Introduction	v
Formules pour la gestion des munitions	1
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions	1
4 Contexte	2
5 Loi de graduation Hopkinson-Cranz.....	2
6 Effet de souffle.....	3
6.1 Rankine-Hugoniot (paramètres de front de choc).....	3
6.1.1. Vitesse du front de choc	3
6.1.2. Vitesse des particules.....	4
6.1.3. Densité de l'air à l'arrière du front de choc.....	4
6.1.4. Pression dynamique	4
6.1.5. Pression réfléchie.....	4
6.2 Surpression et impulsion de souffle	4
6.2.1. Pression de l'incident.....	5
6.2.2. Impulsion de l'incident	5
6.2.3. Pression réfléchie.....	6
6.2.4. Impulsion réfléchie.....	7
6.3 Loi des distances	7
6.4 Coefficient de réflexion	7
6.5 Impulsion	8
6.5.1. Impulsion générale	8
6.5.2. Impulsion graduelle.....	8
7 Paramètres d'explosion	8
7.1 Pression de détonation	8
7.2 Équivalence TNT	8
8 Balistique	9
8.1 Vitesse de fragmentation	9
8.2 Estimation simple de la portée des fragments	10
9 Distances de sécurité simples du champ	11
9.1 Équations de base	11
9.2 Équations de base (alternatives).....	11
9.3 Zones de danger vertical	12
9.4 Prévision sonore simple.....	12
10 Effets sur les installations	12
10.1 Effet de souffle.....	12
10.2 Fragmentation.....	14

10.3	Choc au sol.....	14
11	Effets sur les personnes	15
11.1	Risque individuel.....	15
11.2	Niveaux primaires de blessure par onde de souffle	15
11.3	Niveaux secondaires de blessure par onde de choc.....	16
12	Stockage souterrain.....	16
	Annexe A (informative) Références	18
	Annexe B (informative) Références.....	19
	Consignation des amendements	20

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 de 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.

²Résolution A/63/61 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

La nature des munitions et des matières explosives avec leur potentialité de réaction violente non prévue nécessite l'élaboration des recommandations et des directives pour une gestion sûre des stocks de munitions conventionnelles. Cela requiert, par nécessité, une approche fondée sur les risques⁴, qui devrait se baser sur une ingénierie et une science solide en matière d'explosifs.

Les décisions de gestion des risques basées sur des connaissances plus complètes peuvent être prises si la probabilité d'un accident dû à des matières explosives et les conséquences peuvent être prises en compte. Cela exige des connaissances en matière de formules scientifiquement approuvées qui peuvent être utilisées pour aider à la prise de décision et la gestion des risques au cours de la gestion du stockage de munitions conventionnelles.

La présente DTIM récapitule les formules scientifiques qui sont aussi soit utiles, soit nécessaires à une gestion sûre, efficace et effective des stocks. Leur utilisation détaillée est expliquée dans les autres DTIM qui traitent du même sujet dans le reste des directives, ou dans le logiciel qui accompagne les DTIM.

⁴ DTIM 02,10 *Introduction aux principes et procédures de gestion des risques* contient d'autres informations sur les approches fondées sur les risques concernant la gestion des stocks de munitions conventionnelles.

Formules pour la gestion des munitions

1 Domaine d'application

Cette DTIM présente et récapitule des formules scientifiquement éprouvées et sûres qui peuvent être utilisées pour appuyer les processus de prise de décision et de gestion des risques essentiels à la gestion sûre et efficace des stocks de munitions conventionnelles.⁵ Des indications sur leur utilisation appropriée figurent soit dans le présent guide, soit dans le logiciel complémentaire des DTIM, soit dans d'autres DTIM techniques plus spécifiques. Elles sont résumées ici pour faciliter leur utilisation ultérieure.

2 Références normatives

Les documents référencés ci-dessous sont indispensables pour la mise en œuvre de ce document. Concernant les références datées, seule la version mentionnée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document référencé (y compris les modifications éventuelles) s'applique.

Une liste de références normatives est fournie en Annexe A. Les références normatives sont des documents importants auxquels cette directive se réfère et qui constituent une partie des dispositions de cette directive.

Une liste supplémentaire de références informatives est fournie en Annexe B sous forme d'une bibliographie qui énumère d'autres documents contenant d'autres informations utiles sur des formules pour la gestion des stocks de munitions conventionnelles.

3 Termes et définitions

Aux fins de cette directive, les termes et définitions suivants, ainsi que la liste plus complète sont fournis dans la DTIM 01.40:2015[F], *Termes, définitions et abréviations*, seront appliqués.

Le terme « brisance » fait référence à l'effet éclatant ou au pouvoir de brisance d'une explosion ou d'une matière explosive.

Le terme « danger » fait référence à une source potentielle de blessures.

Le terme « distance de sécurité » fait référence à une distance sûre qui sépare un site potentiel d'explosion d'un site exposé.

Le terme « risque » fait référence à la combinaison de la probabilité d'avènement du danger et la sévérité de celui-ci.

L'expression « gestion des risques » désigne l'ensemble du processus décisionnel fondé sur les risques.

Dans tous les modules des Directives Techniques Internationales sur les Munitions, les mots « doit », « devrait », « peut » et « peut » sont utilisés pour exprimer les dispositions conformément à leur utilisation dans les normes ISO.

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

⁵ L'utilisation détaillée est expliquée dans les autres DTIM qui traitent du même sujet dans le reste des directives.

- 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** » **indique la permission** : Il sert à indiquer une ligne de conduite permise dans les limites du document.
- d) « **peut** » **indique la possibilité et la capacité**: Il est utilisé pour les déclarations de possibilités et de capacités, qu'elles soient matérielles, physiques ou occasionnelles.

4 Contexte

Les munitions et matières explosives, par nature, présentent un risque inhérent lors de leur stockage qui, en cas de mauvaise gestion, forme un danger latent pour les communautés locales avoisinantes. Des explosions non planifiées ont lieu régulièrement dans les dépôts de munitions dans le monde, cependant la majorité des impacts négatifs sur les communautés locales aurions pu être prévenue si des systèmes de gestion des risques avaient été développés et appliqués.

Il est donc essentiel d'avoir recours à des méthodes scientifiques et techniques éprouvées et fiables en matière d'explosifs pour appuyer les processus de gestion des risques nécessaires à une gestion sûre et efficace des stocks de munitions conventionnelles.

La présente DTIM contient des formules qui devraient être utilisées en support aux processus de gestion des risques dans la gestion du stock des munitions conventionnelles et récapitule leur utilisation potentielle. Plus d'informations détaillées sur l'utilisation de chaque formule sont fournies dans la DTIM qui traite du même sujet et dans le reste des directives.

5 Loi de graduation Hopkinson-Cranz

De nombreux États utilisent des règles fondées sur les explosifs, leur quantité et la distance qui sépare la matière explosive de l'endroit où les gens sont en danger. Ces règles sont connues comme « Critère quantité-distance (Q-D), et reposent sur une approche dérivée de la *Loi de graduation Hopkinson-Cranz*⁶ ⁷, qui fut modifiée par la suite par un ensemble de coefficients. Ceci est la base d'une grande partie des travaux sur l'estimation du critère Q-D approprié.

NOTE 1 Il n'est pas toujours possible de fournir des distances de séparation exigées par la Q-D, ce qui le pire des cas, et un système alternatif d'analyse des risques d'évaluation quantitative des risques (QRA) peut être utilisé. (Voir DTIM 02.20 *Quantité et distances de séparation* pour les informations détaillées).

$(R_1/R_2) = (W_1/W_2)^{1/3}$ $R = Z \times W^{1/3}$	R = Portée (m) Z = Constante de proportionnalité (dépendant du souffle de surpression acceptable) P = Poids de matière explosive (kg)
--	---

Tableau 1 : Loi de graduation de Hopkinson-Cranz

Le Tableau 2 comporte des exemples de la constante 'Z' utilisée dans la sécurité du stockage des matières explosives⁸ :

⁶ *Hopkinson B*, UK Ordnance Board Minutes 13565, 1915.

⁷ *Cranz C*, Textbook of Ballistics, Springer-Verlag, Berlin, 1916.

⁸ Ce sont les réglages par défaut de 'Z' dans le logiciel des DTIM, bien que le logiciel permette à l'utilisateur d'entrer des valeurs alternatives de 'Z'.

Z	Objectif	Remarques
8,0	Utilisé pour prévoir les distances de séparation entre les ateliers de traitement des munitions (BTM) dans une zone de stockage des explosifs (ZSE).	<ul style="list-style-type: none"> En outre, les distances de sécurité minimales s'appliquent également si R est inférieur à un certain niveau, qui diffère pour chaque fonction 'Z'.
14,8	Utilisé pour prévoir les distances de séparation entre un magasin de munition et une voie de circulation publique à accès civil.	
22,2	Utilisé pour prévoir les distances de séparation entre un magasin de munition et un immeuble habité par des civils.	
44,4	Utilisé pour prévoir les distances de séparation entre un magasin de munition et un bâtiment vulnérable habité par des civils (telle une école).	

Tableau 2 : Exemples de Constante « Z »

Des détails complémentaires sur l'utilisation pratique de cette formule sont contenus dans la DTIM 02.20 *Quantité et distances de séparation*.

6 Effet de souffle

Les paramètres caractéristiques d'une onde de choc avec une pression discontinue soudaine au niveau du front de choc sont les suivants :

- Surpression ;
- Pression dynamique ;
- Pression réfléchie ;
- Densité ;
- Vitesse du front de choc ; et
- Vitesse des particules.

Ces paramètres peuvent être dérivés grâce aux équations de *Rankine-Hugoniot*⁹

6.1 Rankine-Hugoniot (paramètres de front de choc)¹⁰

6.1.1. Vitesse du front de choc

$V_{fc} = c \cdot (1 + (6P_s/7P_0))^{1/2}$	V_{fc} = Vitesse du Front de Choc (m/s) c = Vitesse du son (m/s) P_s = Pression latérale maximale (kPa) P_0 = Pression Ambiante (kPa)
--	--

Tableau 3 : Vitesse du front de choc

⁹ Rankine W J H. The Dynamics of Explosion and its Use. Elsevier. Amsterdam. 1979.

¹⁰ Les équations Rankine-Hugoniot sont applicables uniquement à condition que la vitesse des particules devant le front de choc soit nul et que l'air se comporte comme un gaz idéal (avec ratio de chaleur particulier de 1,4)

6.1.2. Vitesse des particules

$V_p = (5P_s/7P_0) \cdot (c/(1 + (6 P_s \cdot 7P_0))^{1/2})$	V_p = Vitesse des particules (m/s) P_s = Pression latérale maximale (kPa) P_0 = Pression Ambiante (kPa) c = Vitesse du son (m/s)
--	---

Tableau 4 : Vitesse des particules

6.1.3. Densité de l'air à l'arrière du front de choc

$D_{sf} = (7 + (6 P_s / 7P_0)) / (7 + P_s / 7P_0) \cdot D_{air}$	D_{fc} = Densité de l'air derrière le front de choc (kg/m ³) P_s = Pression latérale maximale (kPa) P_0 = Pression Ambiante (kPa) D_{air} = Densité de l'air
--	---

Tableau 5 : Densité de l'air à l'arrière du front de choc

6.1.4. Pression dynamique

La pression dynamique pendant la charge de souffle d'une structure est une fonction de la pression dans le temps, par opposition à la charge de souffle quasi statique à un moment donné :

$P_d = 5P_s^2 + 2(P_s + 7P_0)$	P_d = Pression dynamique maximale (kPa) P_s = Pression latérale maximale (kPa) P_0 = Pression Ambiante (kPa)
--------------------------------	--

Tableau 6 : Pression dynamique

6.1.5. Pression réfléchie¹¹

$P_r = 2P_s \cdot ((7P_0 + 4P_s)/(7P_0 + P_s))$	P_r = Pression réfléchie maximale (kPa) P_0 = Pression Ambiante (kPa) P_s = Pression latérale maximale (kPa)
---	--

Tableau 7 : Pression réfléchie

De plus amples détails sur l'utilisation pratique de ces formules figurent dans la DTIM 02.20 *Quantité et distances de séparation* ou dans le Concept d'analyse des conséquences d'explosion de la DTIM 02.10 *Introduction aux processus de gestion des risques* et dans le logiciel des DTIM.

6.2 Kingery et Bulmash

Des équations pour estimer la surpression de souffle à dans un champ donné ont été mises au point par Charles Kingery et Gerald Bulmash. Ces équations sont largement acceptées comme des prédictions techniques pour déterminer les pressions et les charges en champ libre sur les structures et constituent la base du logiciel du programme américain CONWEP (Conventional Weapons Effects Programme). Leur rapport¹² contient une compilation de données provenant d'essais d'explosivité utilisant des poids de charge de moins de 1 kg à plus de 400 000 kg. Les auteurs ont utilisé des techniques d'ajustement des courbes pour représenter les données à l'aide d'équations polynomiales d'ordre supérieur, qui sont incluses dans le logiciel qui accompagne les DTIM' pour faciliter leur application.

¹¹ Pression réfléchie habituelle.

¹² Charles N Kingery and Gerald Bulmash. Airblast Parameters from TNT Spherical Air Burst and Hemispherical Surface Burst, US Technical Report ARBRL-TR-02555. Ballistics Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Maryland, USA. April 1984.

Les équations sont résumées dans les tableaux 8 à 13 à titre d'information, où sont indiquées les fonctions pour représenter les paramètres de souffle d'air en fonction de la distance en mètres pour un éclatement sphérique de 1 kg de TNT à l'air libre et un éclatement hémisphérique en surface : 1) Pression de l'incident ; 2) Impulsion de l'incident ; 3) Pression réfléchie ; et 4) Impulsion réfléchie.

Les valeurs numériques des constantes 'C' et 'K' sont celles d'une charge équivalente à 1 kg de TNT. Les prévisions pour d'autres explosifs exigeront que l'équivalence TNT soit d'abord estimée (Disposition 7.2).

$Y = C_0 + C_1U + C_2U^2 + C_3U^3 \dots\dots\dots C_nU^n$	Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>) C _{0,1,2, etc.} = Constante U = K ₀ + K ₁ T K _{0, 1, etc.} = Constante T = Logarithme commun de la distance (m)
---	---

Tableau 8 : Forme polynomiale générale de Kingery et Bulmash

6.2.1. Pression de l'incident

Les équations suivantes ont une plage d'application comprise entre 0.05 et 40 m.

$U = -0,214\ 362\ 789\ 151 + 1,350\ 342\ 499\ 93T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 2,611368669 - 1,69012801396U + 0,00804973591951U^2 + 0,336743114941U^3 - 0,00516226351334U^4 - 0,0809228619858U^5 - 0,00478507266747U^6 + 0,00793030472242U^7 + 0,0007684469735U^8$	U = K ₀ + K ₁ T T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
---	--

Tableau 9 : Formule polynomiale de Kingery et Bulmash pour les incidents réfléchis (Air libre sphérique)

$U = -0,214\ 362\ 789\ 151 + 1,350\ 342\ 499\ 93T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 2,78076916577 - 1,6958988741U + 0,154159376846U^2 + 0,514060730593U^3 - 0,0988534365274U^4 - 0,293912623038U^5 - 0,0268112345019U^6 + 0,109097496421U^7 + 0,00162846756311U^8$	U = K ₀ + K ₁ T T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
--	--

Tableau 9A : Polynôme de Kingery et Bulmash pour la pression incidente (surface hémisphérique)

6.2.2. Impulsion de l'incident

L'équation du tableau 10 ne s'applique qu'au champ proche de 0,053 1 m, c'est-à-dire juste à côté de la charge explosive.

$U = 2,347\ 239\ 213\ 54 + 3,242\ 990\ 664\ 75T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 2,38830516757 - 0,443749377691U + 0,168825414684U^2 + 0,0348138030308U^3 - 0,010435192824U^4$	U = K ₀ + K ₁ T T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
---	--

Tableau 10 : Polynôme de Kingery et Bulmash pour incident et impulsion (champ très proche) (Air libre sphérique)

L'équation du tableau 10A ne s'applique qu'aux distances échelonnées entre 0,067 4 et 0,955.

$U = 2,067\ 619\ 087\ 21 + 3,076\ 032\ 966\ 6T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 2,52455620925 - 0,502992763686U + 0,171335645235U_2 + 0,0450176963051U_3 - 0,0118964626402U_4$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
---	---

Tableau 10A : Polynôme de Kingery et Bulmash pour incident et impulsion (champ très proche) (surface hémisphérique)

Les équations du tableau 11 s'appliquent aux portées lorsque l'onde de souffle s'éloigne de la charge explosive (à une distance graduée de 0,955 à 40).

$U = -1,753\ 056\ 603\ 15 + 0,306\ 292\ 318\ 03T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 1,55197227115 - 0,40463292088U - 0,0142721946082U_2 + 0,00912366316617U_3 - 0,0006750681404U_4 - 0,0080086371901U_5 - 0,00314819515931U_6 + 0,00152044783382U_7$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
---	---

Tableau 11 : Polynôme de Kingery et Bulmash pour incident et impulsion réfléchies (Air libre sphérique)

$U = -1,947\ 088\ 467\ 47 + 2,406\ 977\ 454\ 06T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 1,67281645863 - 0,384519026965U - 0,0260816706301U_2 + 0,00595798753822U_3 - 0,014544526107U_4 - 0,00663289334734U_5 - 0,00284189327204U_6 + 0,0013644816277U_7$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
---	---

Tableau 11A : Polynôme de Kingery et Bulmash pour Incident Impulse (surface hémisphérique)

6.2.3. Pression réfléchie

L'équation suivante dispose d'une plage d'application comprise entre 0.05 et 40 m.

$U = -0,214\ 362\ 789\ 151 + 1,350\ 342\ 499\ 93T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 3,22958031387 - 2,21400538997U + 0,035119031446U_2 + 0,657599992109U_3 + 0,0141818951887U_4 - 0,243076636231U_5 - 0,0158699803158U_6 + 0,0492741184234U_7 + 0,00227639644004U_8 - 0,00397126276058U_9$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
--	---

Tableau 12 : Polynôme de Kingery et Bulmash pour les pressions réfléchies (Air libre sphérique)

$U = -0,240\ 657\ 322\ 658 + 1,366\ 377\ 192\ 29T$ <p style="text-align: center;"><i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i></p> $Y = 3,40283217581 - 2,21030870597U + 0,218536586295U_2 + 0,895319589372U_3 + 0,24989009775U_4 - 0,569249436807U_5 - 0,11791682383U_6 + 0,224131161411U_7 + 0,0245620259375U_8 - 0,455116002694U_9$	$U = K_0 + K_1T$ T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)
--	---

Tableau 12A : Polynôme de Kingery et Bulmash pour la pression réfléchie (surface hémisphérique)

6.2.4. Impulsion réfléchie

Les équations suivantes ont une plage d'application comprise entre 0.05 et 40 m.

<p style="text-align: center;">U = 0,204 004 553 231 + 1,378 829 960 18T <i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i> Y = 2,55875660396 - 0,903118886091U + 0,101771877942U² - 0,0242139751146U³</p>	<p>U = K₀ + K₁T T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)</p>
--	--

Tableau 13 : Polynôme de Kingery et Bulmash pour les impulsions réfléchies (Air libre sphérique)

<p style="text-align: center;">U = -0,246 208 804 814 + 1,334 220 498 54T <i>Substituez alors U dans ce qui suit :</i> Y = 2,70588058103 - 0,949516092853U + 0,112136118689U² - 0,0250659183287U³</p>	<p>U = K₀ + K₁T T = Logarithme commun de la distance (m) Y = Logarithme commun du paramètre de souffle (métrique) (<i>pression ou impulsion</i>)</p>
---	--

Tableau 13A : Polynôme de Kingery et Bulmash pour l'impulsion réfléchie (surface hémisphérique)

De plus amples détails sur l'utilisation pratique de ces formules figurent dans le Concept d'analyse des conséquences d'explosion de la DTIM 02.10 *Introduction aux processus de gestion des risques* et dans le logiciel des DTIM qui l'accompagne.

6.3 Loi des distances

Dans le cas des ondes de souffle d'explosions produites en altitude, où les conditions ambiantes peuvent être très différentes de celles du niveau de la mer, la loi des distances la plus utilisée est celle de Sachs.¹³ L'application de la loi des distances de Sachs conduit à la formulation de facteurs de graduation en altitude.

<p><i>Graduation de la Distance à une l'altitude 'z'.</i> $D_{dz} = (P_0/P_z)^{1/3}$</p> <p><i>Graduation de la Pression à une l'altitude 'z'</i> $P_{pz} = (P_z/P_0)$</p> <p><i>Graduation de l'Impulsion à une l'altitude 'z'</i> $I_{iz} = (P_z/P_0)^{2/3} \cdot (T_0/T_z)^{1/2}$</p> <p><i>Graduation de l'Impulsion à une l'altitude 'z'</i> $I_t = (P_0/P_z)^{1/3} \cdot (T_0/T_z)^{1/2}$</p>	<p>D_{dz} = Distance graduée à une altitude 'z'. P₀ = Pression Ambiante (kPa) (101,33kPa) P_z = Pression à une altitude 'z' (kPa) I_{pz} = Impulsion graduée à une altitude 'z' (kPa) I_{iz} = Impulsion graduée à une altitude 'z' (kg.m/s) T₀ = Température ambiante (K) (288 16°K) T_z = Température à une altitude 'z' (K) S_t = Temps gradué à une altitude 'z' (s)</p>
---	---

Tableau 14 : Facteurs de graduation de Sachs

6.4 Coefficient de réflexion

Le coefficient de réflexion est utilisé pendant l'analyse des conséquences de l'explosion (ACE) pour comparer la pression maximale réfléchie à la pression latérale maximale :

¹³ Sachs R G. The dependence of Blast on Ambient Pressure and Temperature. Technical Report 466. Ballistics Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Maryland, USA. May 1944.

$C_r = P_r/P_s$	C_r = Coefficient de réflexion P_r = Pression réfléchie maximale (kPa) P_s = Pression latérale maximale (kPa)
-----------------	---

Tableau 15 : Coefficient de réflexion

6.5 Impulsion

6.5.1. Impulsion générale

Le paramètre décisif des dommages causés par le souffle d'air est l'impulsion de surpression positive. Elle doit être déterminée par l'intégration de la phase de surpression positive (c'est-à-dire définie par la surface totale sous la courbe pression-temps).

$I_s = \int P_s \cdot t \cdot dt$	I_s = Impulsion latérale (kg.m/s) P_s = Pression latérale maximale (kPa) t = Temps (s)
-----------------------------------	--

Tableau 16 : Impulsion générale

6.5.2. Impulsion graduelle

L'impulsion graduelle est souvent utilisée pour prévoir les effets de pression sur les humains.

$I_{ig} = I_s / P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}$	I_{ig} = Impulsion graduelle (kg.m/s) I_s = Impulsion latérale (kg.m/s) P_0 = Pression Ambiante (kPa) M = Masse d'individus (kg)
--	---

Tableau 17 : Impulsion graduelle sur un individu

7 Paramètres d'explosion

7.1 Pression de détonation

La pression de détonation d'une matière explosive fournit un indicateur de sa capacité à fonctionner et détermine si la brisance de cette matière est élevée ou basse. Il peut être estimé tel que montré dans la Tableau 18 :

$P_{det} = 2,5 \cdot V_d \cdot (D/0,000\ 000\ 1)$	P_{det} = Pression de détonation (GPa) V_d = Vitesse de détonation de l'explosif (m/s) D = Densité (g/cm ³)
---	---

Tableau 18 : Pression de détonation

7.2 Équivalence TNT

La majorité des équations de souffle d'air et d'impulsion prédisent la TNT, et il est donc souhaitable de convertir la masse explosive en masse de charge équivalente de TNT.

$M_{TNTe} = (E_{exp}^d/E_{TNT}^d) \cdot M_{exp}$	M_{TNTe} = Masse équivalence de TNT (kg) E_{exp}^d = Énergie de détonation spécifique des explosifs (J/kg) E_{TNT}^d = Énergie de détonation spécifique de TNT (J/kg) M_{exp} = Masse d'explosive (kg)
--	---

Tableau 19 : Équivalence TNT

Le tableau 20 contient des facteurs d'équivalence de TNT précalculés pour une explosion de grande portée. Ceux-ci sont suffisamment précis pour être utilisés à des fins de conception.

Matière explosive	Masse équivalente de TNT		Portée de pression (MPa)
	Pression maximale	Impulsion	
Amatol	0,99	0,98	
Composition B	1,11	0,98	0,035 – 0,350
Composition C3	1,08	1,01	0,035 – 0,350
Composition C4	1,37	1,19	0,070 – 0,700
HMX	1,02	1,03	Estimé
Octol 75/25	1,06	1,06	Estimé
PETN	1,27	1,11	0,035 – 0,700
RDX	1,14	1,09	Estimé
RDX/TNT 60/40 (Cyclotol)	1,14	1,09	0,035 – 0,350
Tétryl	1,07	1,05	0,021 – 0,140
TNT	1,00	1,00	Standard
Tritonale	1,07	0,96	0,035 – 0,700

Tableau 20 : Équivalence TNT

8 Balistique

8.1 Gurney (Vitesse de fragmentation)

Les équations de Gurney¹⁴ sont un ensemble de formules utilisées en ingénierie des explosifs pour prédire la vitesse à laquelle un explosif détruit une couche enveloppante de métal ou autre matière lorsque l'explosion détone. Cela détermine la vitesse à laquelle les fragments sont libérés lors de la détonation d'une munition. Cette vitesse initiale des fragments peut ensuite être utilisée avec d'autres équations balistiques pour prédire les zones dangereuses ou la percée des fragments.

<p>Équation de charge cylindrique¹⁵ $(V/\sqrt{2E}) = ((M/C_{exp}) + 1/2)^{-1/2}$</p> <p>Équation de charge sphérique¹⁶ $(V/\sqrt{2E}) = ((M/C_{exp}) + 3/5)^{-1/2}$</p>	<p>V = Vitesse initiale d'un fragment (m/s) $\sqrt{2E}$ = Constante de Gurney pour un explosif donné (m/s) M = Masse d'un fragment (kg)¹⁷ C_{exp} = Masse de charge explosive (kg)</p>
---	---

Tableau 21 : Les Équations de Gurney¹⁸

¹⁴ Gurney, R. W. The Initial Velocities of Fragments from Bombs, Shells, and Grenades, BRL-405. Ballistic Research Laboratory, Aberdeen, Maryland, USA. 1943.

¹⁵ Estimation de premier ordre pour la plupart des bombes d'artillerie, des obus de mortier et des ogives de missiles à explosion de grande puissance.

¹⁶ Utilisé pour les grenades militaires et certaines bombes à fragmentation.

¹⁷ Dans le cas d'un obus d'artillerie, il s'agit habituellement de la base pour laquelle une estimation de la masse est faite à partir de la masse corporelle totale.

¹⁸ Il existe d'autres équations de Gurney pour les sandwichs symétriques, asymétriques, à face ouverte et à bourrage continu. Celles-ci dépassent le champ d'application de la présente DTIM et ont donc été exclues.

La constante de Gurney $\sqrt{2E}$ est généralement très proche du tiers de la vitesse de détonation de l'explosif. Le tableau 22 contient les constantes de Gurney pour une gamme d'explosifs de grande puissance :¹⁹

Matière explosive ²⁰	Densité (kg/m ³)	Vitesse de détonation ²¹ (m/s)	Constante de Gurney $\sqrt{2E}$ (m/s)
Composition B	1,61	7 620	2 774
Composition C4	1,71	8 200	2 530
HMX	1,91	9 100	2 972
Octol 75/25	1,81	8 640	2 896
PETN	1,78	8 260	2 926
RDX	1,81	8 700	2 926
RDX/TNT 60/40 (Cyclotol)	1,68	7 800	2 402
Tétryl	1,71	7 570	2 499
TNT	1,61	6 900	2 438
Tritonale	1,70	5 480	2 316

Tableau 22 : Constantes de Gurney

8.2 Estimation simple de la portée des fragments²²

Une équation simple pour prédire la portée d'un fragment se trouve au tableau 23, mais comme elle ne reflète aucune des caractéristiques de la munition et ne tient pas compte de la traînée, elle doit être utilisée avec grande prudence :

$R = (V_0/g) \cdot \sin 2\theta$	R = Portée (m) V ₀ = Vitesse initiale d'un fragment (m/s) g = Gravité (m/s ²) θ = Angle de lancement (Radians)
----------------------------------	--

Tableau 23 : Prédiction simple de portée

Des prédictions plus précises reposent sur une gamme d'équations balistiques²³ complexes en raison du grand nombre de variables impliquées.²⁴ Par conséquent, un ensemble d'analyses plus détaillées ne devrait être utilisé que par du personnel qualifié et n'est donc pas abordé plus en détail dans la présente guide DTIM.

¹⁹ Les densités et les vitesses de détonation sont approximatives, car les mélanges explosifs varient.

²⁰ Des informations détaillées sur une large gamme d'explosifs sont disponibles dans le logiciel "eXdata".

²¹ La vitesse de détonation variera en fonction de la méthode utilisée pour la mesurer. Cette colonne comprend des exemples.

²² Note technique de l'action contre les mines (NTAM) 10,20/01 Estimations des zones de danger explosif (Version 2.0). Genève. CIGHD. De plus amples détails sur leur utilisation sont disponibles là.

²³ Traînée atmosphérique, ralentissement des fragments, fragmentation de Mott, etc.

²⁴ Par exemple : 1) taille des fragments ; 2) forme des fragments ; 3) densité du matériau ; 4) vitesse initiale ; 5) coefficient de traînée ; 6) effets de la gravité ; 7) stabilité balistique en vol ; 8) composition des cibles, etc.

9 Distances de sécurité simples du champ²⁵

9.1 Équations de base

Les distances de sécurité simples suivantes peuvent être utilisées pour estimer les zones dangereuses du champ lors de la planification de la destruction de munitions par détonation à l'air libre. Elles peuvent être utilisées pour une " planification rapide " sur des surfaces de démolition avec des zones dangereuses existantes. Au cas où elles sont utilisées sur une surface de démolition avec aucune zone de danger formel, l'utilisateur devrait se rappeler que la distance fournie par ces équations est la distance au-delà de laquelle, l'on n'espère pas voir la projection de plus d'un fragment. Elles NE SONT PAS complètement sécurisées.

<p><i>Pour des munitions créant des fragmentations dans une zone de destruction accessible au public.</i></p> <p>D = 634(AUW)^{1/6}</p> <p><i>Pour des munitions créant des fragmentations dans une zone de destruction non accessible au public.</i></p> <p>D = 444(AUW)^{1/6}</p> <p><i>Pour des matières explosives nues uniquement.</i></p> <p>D = 130(AUW)^{1/3}</p>	<p>D = Distance (m) AUW = Poids total des munitions ou explosifs nus (kg)</p>
--	---

Tableau 24 : Distances de sécurité simples du champ

9.2 Équations de base (alternatives)

L'Organisation des sciences et technologies de la défense australienne (DSTO) a menée des recherches en mars 1997 sur la destruction de munitions et d'explosifs d'engins multiples. L'étude a révélé que les zones à risque d'explosion par fragmentation pour les démolitions de plusieurs éléments peuvent être réduites à celle de la plus grande quantité nette d'explosifs d'une seule munition dans la démolition prévue. Les résultats de l'équation du tableau 25 se comparent favorablement à ceux du tableau 24 sur l'accès interdit au public :

- a) Les munitions sont disposées en réseau linéaire et NON en pile ;
- b) Elles explosent simultanément ; et
- c) les engins ont des diamètres PLUS GROS que ceux d'une charge isolée.

<p>D = 370(AUW)^{1/5}</p>	<p>D = Distance (m) AUW = Poids total des munitions ou explosifs nus (kg)</p>
--	---

Tableau 25 : Distances de sécurité simples (alternative)

²⁵ Ces équations sont basées sur les travaux de M. Pilgrim, AWE Foulness au Royaume-Uni. QlnetiQ utilise des dérivés de ces équations dans ses travaux d'essais. Ces informations ont été obtenues à partir d'un document du ministère de la défense britannique (MOD KGH/Safety Services Organisation) sur les zones dangereuses daté du 31 juillet 1990.

9.3 Zones de danger vertical

Les équations permettant d'estimer les zones de dangers verticales nécessaires pour avertir le trafic aérien des démolitions au sol diffèrent légèrement des Dispositions 9.1 et 9.2, car aucune parabole balistique ne doit être prise en compte.

<p><i>Pour un seul article de munition.</i> $D = 314(AUW)^{1/3}$</p> <p><i>Pour les munitions à fragmentation d'engins multiples.</i> $D = 470(AUW)^{1/5}$</p>	<p>D = Distance (m) AUW = Poids total des munitions ou explosifs nus (kg)</p>
--	---

Tableau 26 : Zones de danger vertical

9.4 Prévion sonore simple

L'équation suivante²⁶ peut être utilisée pour prédire la distance à laquelle on peut s'attendre à obtenir 140 dB²⁷ de son :

$D = 215 (M_{exp})^{1/3}$	<p>D = Distance (m) M_{exp} = Masse d'explosive (kg)</p>
---	--

Tableau 27 : Prévion sonore simple

10 Effets sur les installations

La prédiction des effets des armes sur les installations est une activité complexe en raison du grand nombre de variables impliquées²⁸ et de l'impact que ces variables ont sur la réponse structurelle à la charge explosive.

10.1 Effet de souffle

On peut obtenir des estimations approximatives des dommages structurels causés par l'effet de souffle à partir de modèles empiriques fondés sur une analyse des données relatives aux accidents, aux essais et aux dommages de guerre. Cette analyse met en corrélation les dommages structurels avec la distance par rapport à l'explosion et la masse de charge impliquée.

Les données les plus complètes sont disponibles pour les structures en briques en raison des études entreprises pendant la Seconde Guerre mondiale. Des catégories de dommages causés par l'explosion pour les maisons en briques ont été élaborées²⁹ et peuvent être utilisées dans l'analyse des conséquences d'une explosion pour illustrer la gravité potentielle des effets d'une explosion non désirée :

Catégorie	Définition	Remarques
A	Maisons complètement détruites	▪

²⁶ Source : QinetiQ Shoeburyness, Royaume-Uni 1999.

²⁷ Le niveau maximal autorisé par l'Union européenne pour un événement isolé.

²⁸ Par exemple : 1) le type d'installation ; 2) la résistance, l'élasticité et la ductilité du matériau de base de l'installation ; 3) la réponse structurelle à la charge de souffle ; 4) les effets de charge par diffraction ; 5) les effets de charge par traînée ; 6) l'orientation de l'installation par rapport à la charge par souffle ; 7) la topographie locale, etc.

²⁹ Grâce aux travaux de : 1) *Scilly N F and High W G*. The blast effect of explosions. Loss prevention and safety promotion 5. 1986; and 2) *Jarrett D E*. Derivation of the British Explosives Safety Distances. Annals New York Academy of Sciences, 152, Article 1. 1968.

Catégorie	Définition	Remarques
B	Maisons gravement endommagées ne pouvant pas être réparées et nécessitant une démolition.	<ul style="list-style-type: none"> 50% - 75% de la structure externe en brique détruit. Murs restants présentant des fissures béantes qui sont irréparables.
C _B	Maisons devenues inhabitables, mais pouvant être réparées grâce à des travaux de longue haleine.	<ul style="list-style-type: none"> Effondrement partiel ou complet des toitures Démolition partielle des murs supérieure à 25% de l'ensemble Dommages importants sur les fondations nécessitant une démolition et le remplacement.
C _A	Maisons rendues inhabitables, mais pouvant être réparées assez rapidement.	<ul style="list-style-type: none"> Dommages structurels mineurs Cloisons et charpenteries arrachées des raccords.
D	Maisons nécessitant des réparations pour remédier à de graves incon vénients, mais qui demeurent habitables.	<ul style="list-style-type: none"> Dégâts aux plafonds et carrelages. Effets de fragmentation mineurs sur les murs et les vitrages.

Tableau 28 : Catégories de dégâts sur les constructions en briques

L'analyse des données utilisées pour produire le Tableau 28 a mené à une formule dérivée empiriquement pour estimer l'étendue des dégâts.

$R_x = (K_x \cdot M_{exp}^{1/3}) / (1 + (3175/M_{exp})^2)^{1/6}$	<p>R_x = Plage pour le niveau de dommage 'x' (m) K_x = Constante pour le niveau de dégât 'x' (voir Tableau 29) M_{exp} = Masse d'explosive (kg)</p>
--	---

Tableau 29 : Estimation de l'étendue de dommage sur des bâtiments

Les valeurs de K_x ont d'abord été calculées par *Jarrett*, puis révisées par *Gilbert, Lees et Scilly*.³⁰ Les valeurs révisées tiennent compte du facteur d'enveloppe, qui est le degré d'énergie transmis aux fragments primaires de l'enveloppe, réduisant ainsi l'énergie de soufflage d'air existante.

K _x par catégorie de dégât	Jarrett	Gilbert, Lees and Scilly
A	3,8	4,8
B	5,6	7,1
C _B	9,6	12,4
C _A	28,0	21,3
D	56,0	42,6

Tableau 30 : Facteurs 'K' pour le Tableau 29

³⁰ *Gilbert S M, Lees F P and Scilly N F. A Model Hazard Assessment of the Explosion of an Explosives Vehicle in a Built-Up Area. Minutes of the 26th US Department of Defense Explosives Safety Board Seminar. Miami. USA. 1994.*

10.2 Fragmentation

La mesure dans laquelle les fragments pénètrent les structures à l'impact dépend d'une série de variables,³¹ ce qui conduit à des expressions très complexes pour chaque cas possible. Ces expressions sont dérivées empiriquement pour des matériaux de construction spécifiques et des combinaisons de fragments. Il n'est donc pas facile de prédire les dommages structuraux causés par des explosions hypothétiques si l'on ne dispose pas d'une vaste série de données pour prédire les dommages structuraux causés par des fragments. Ces données sont souvent détenues par l'armée et, par conséquent, confidentielles.

L'exemple du Tableau 31 porte sur la profondeur de pénétration des fragments cylindriques à face plane qui frappent le béton. Il peut être utilisé dans une ACE comme exemple de dommages auxquels on peut s'attendre dans des structures de bâtiment modernes.

$x = (2,74 \cdot 10^{-5} \left(\frac{D \cdot d^{1/5}}{s} \right)^{1/2} \cdot V^{1.8} \cdot 4d^2)^{1/2}$ <p style="text-align: center;"><i>Pour $x/d < 2$</i></p> $x = 2.74 \cdot 10^{-5} \left(\frac{D \cdot d^{1/5}}{s} \right)^{1/2} \cdot V^{1.8} \cdot d + d$ <p style="text-align: center;"><i>Pour $x/d > 2$</i></p>	<p>x = Profondeur de pénétration des fragments (m) d = diamètre du fragment (m) D = Densité du fragment (kg/m³) s = Résistance à la compression du béton (Pa) V = Vitesse du fragment (m/s)</p>
--	---

Tableau 31 : Pénétration de la structure (Béton Vs Cylindre à surface plane)

10.3 Choc au sol

Le choc au sol peut être compris comme une onde de vibration traversant le sol. L'onde prend une forme sinusoïdale dont l'amplitude est un paramètre caractéristique.

$A = x \cdot \left(\frac{K \cdot M_{\text{exp}}^{1/2}}{D} \right)$	<p>A = Amplitude (m) x = Constante M_{exp} = Masse d'explosive (kg) K = Constante³² D = Distance (m)</p>
---	---

Tableau 32 : Estimation du choc au sol³³

Il est peu probable que les bâtiments de construction solide soient endommagés par des amplitudes inférieures à 2×10^{-4} m, tandis que ceux d'une construction plus vulnérable ne devraient pas être endommagés si l'amplitude reste inférieure à 8×10^{-5} m.

Un indice des dommages³⁴ a été mis au point qui établit un lien entre la masse des explosifs et le type de sol :

$\phi = M_{\text{exp}}/R^{3/2}$	<p>ϕ = Indice de dommages M_{exp} = Masse d'explosif (kg) R = Portée (m)</p>
---------------------------------	---

Tableau 33 : Indice des dommages

³¹ Par exemple : 1) résistance, ductilité et élasticité des matériaux de construction ; 2) vitesse des fragments ; 3) forme des fragments à l'impact ; 3) masse des fragments ; 4) résistance, ductilité et élasticité des matériaux des fragments, etc.

³² La valeur de K est inversement proportionnelle à la dureté du sol

³³ Des exemples de x et K sont disponibles dans : *Baker W E et al*, Explosion Hazards and Evaluation. Elsevier. Amsterdam. 1983.

³⁴ *Langefors U and Kihlstrom B*. The Modern technique of Rock Blasting. Third Edition. AWE/GERBERS. Sweden. 1978.

Dans le cas des structures construites sur des roches fragiles, on peut s'attendre à des dommages importants par fissuration à des valeurs de $1,0 \text{ kg.m}^{3/2}$ pour ϕ , tandis que dans le cas des structures construites sur des roches plus dures, le degré de dommage est inférieur à $0,25 \text{ kg.m}^{3/2}$ pour ϕ .

11 Effets sur les personnes

Il existe trois modes de blessures par onde de souffle pour les personnes : 1) primaire, 2) secondaire et 3) tertiaire.

- Les blessures primaires sont causées par l'action directe de l'onde de souffle sur le corps. Les blessures les plus communes sont une rupture des tympanes et les hémorragies pulmonaires ;
- Les blessures secondaires par onde de souffle sont celles engendrées par les conséquences des dommages sur des bâtiments ou des structures. Ce sont les traumatismes contondants, les lacérations, suffocation et écrasement ;
- Les blessures tertiaires sont celles causées par le mouvement du corps provoqué par l'onde de souffle. Celles-ci sont des déplacements internes d'organes ou des blessures causées par des impacts lorsque le corps est projeté contre des surfaces dures.

11.1 Risque individuel

Le risque est défini comme la « probabilité x conséquences » et, lorsqu'il est mesuré quantitativement, peut être utilisé pour appuyer les évaluations quantitatives des risques (EQR) où le risque individuel de décès (RI) résultant d'une explosion non désirée est comparé au « risque acceptable » des autres activités ou processus industriels. De ce fait, le RI annuel peut être défini comme suit :

$RI = P_e \times P_{f1e} \times E_p$	P_e = Évènements par année P_{f1e} = Probabilité de décès ³⁵ E_p = Probabilité d'exposition au danger
--------------------------------------	--

Tableau 34 : Risque individuel annuel de décès (RI)

11.2 Niveaux primaires de blessure par onde de souffle

Ils peuvent être estimés selon les méthodes suivantes :

- utiliser *Kingary* pour estimer le choc sur le lieu, et
- comparer la surpression de l'explosion aux seuils de blessure établis à partir des courbes de *Bowen*³⁶ (34,5 kPa pour le début des lésions auditives, 207 kPa pour les lésions pulmonaires et 690 kPa pour les décès).

Une autre méthode consiste à utiliser le modèle ESTC³⁷ Outdoor Blast Model (Modèle de l'effet de souffle extérieur), qui se fonde sur un examen de la documentation disponible sur les effets primaires et tertiaires des explosions.³⁸

$P_{\text{décès}} = (e^{(-5,785 \cdot (R / M^{1/3}) + 19,047)})/100$	$P_{\text{décès}}$ = Probabilité de décès e = Exponentiel R = Portée (m) $M^{1/3}$ = Racine cubique de la masse d'explosif (kg)
--	--

³⁵ Pour une personne exposée continuellement.

³⁶ *Bowen*. Estimate of Mans Tolerance to the Direct Effects of Air Blast. October 1968.

³⁷ Comité britannique pour le stockage et le transport des matières explosives

³⁸ See Chapter 3 to *UK Health and Safety Executive*, Selection and Use of Explosion Effects and Consequence Models for Explosives. HSE. UK. 2000.

Tableau 35 : Modèle de l'effet de souffle extérieur

Le modèle ESTC n'est valide que dans les limites de la distance de graduation 'S' ($S = R/M^{1/3}$) où $2,5 \text{ m.kg}^{1/3} < S < 5,3 \text{ m.kg}^{1/3}$. Pour $S > 5,3 \text{ m.kg}^{1/3}$, la probabilité de décès est nulle tandis que pour $S < 2,5 \text{ m.kg}^{1/3}$, il faut s'attendre à 100 % de décès.

11.3 Niveaux secondaires de blessure par onde de choc

Gilbert, Lees et Scilly ont établi des valeurs de probabilité pour les occupants du bâtiment qui ont subi des blessures mortelles, graves ou légères. C'est ce qui est montré au Tableau 36.³⁹

Catégorie de dommage	Dommages et définition	Probabilité (Décès)	Probabilité (Décès ou blessures sérieuses)	Probabilité (décès, blessure grave ou blessure légère)
		P (K)	P (K + I)	P (K + SI + LI)
A _a	Maisons totalement détruites	0,96	1,0	1,0
A _b	Maisons presque complètement détruites	0,57	0,66	0,82
A	Maisons détruites.	0,62	0,71	0,84
B	Maisons gravement endommagées ne pouvant pas être réparées et nécessitant une démolition.	0,096	0,15	0,38
C _b	Maisons devenues inhabitables, mais pouvant être réparées grâce à des travaux de longue haleine.	0,009	0,043	0,13
C _a	Maisons rendues inhabitables, mais pouvant être réparées assez rapidement.	0	0,002	0,006
D	Maisons nécessitant des réparations pour remédier à de graves inconvénients, mais qui demeurent habitables.	0	0	0

Tableau 36 : Valeurs probables d'accidents secondaires dus à l'effet de souffle

12 Stockage souterrain

L'Annexe M de la DTIM 02.20 *Quantité et distances de séparation*, contient les formules à appliquer pour estimer ou calculer la quantité et les distances de séparation pour le stockage souterrain. Elles sont répétées ici pour compléter les formules des DTIM.

$IBD = 77 \times H_D \times LD^{1/3}$	où : H _D = Diamètre hydraulique de l'entrée du tunnel LD ^{1/3} = Densité de charge (kg/m ³)
$H_D = 4A/C$	où : A = Superficie de la section transversale de l'entrée du tunnel (m ²) C = Circonférence de l'entrée du tunnel (m)

³⁹ Ces valeurs correspondent aux niveaux de dommages indiqués dans le Tableau 29, avec l'ajout de A_a pour la démolition complète et de A_b pour la démolition presque complète.

$LD^{1/3} = \frac{NEQ}{(V_{Ch} + V_{Tunnel})}$	V_{Ch} = Volume de la chambre (m ³) V_{Tunnel} = Volume du Tunnel (m ³)
--	--

Tableau 37 : Distance du bâtiment habité (DBH) (souffle du tunnel Adit)^{40 41}

$IBD = \frac{27,4 \times HD \times}{LD^{1/3}}$	De même que ci-dessus
--	-----------------------

Tableau 38 : Distance de construction du procédé (DCP) (souffle de tunnel Adit)

⁴⁰ La distance dans une direction non axiale peut être réduite à l'aide d'un facteur de multiplication (FM), qui doit être dérivé de la formule $FM = 1/(1 + (\theta/56)^2)^{0,76}$, où θ est l'angle en degrés par rapport à la ligne centrale du tunnel.

⁴¹ Ceci une simple approximation. Une méthode plus précise est donnée dans l'AASTP-1, chapitre 3, paragraphe 3.3.4.1 (b) et (c)

Annexe A **(informative)** **Références**

Les documents normatifs ci-dessous contiennent des mentions qui, par la référence qui y est faite dans le présent texte, constituent des dispositions de cette partie de la directive. En ce qui concerne les références datées, les amendements et révisions ultérieurs de ces publications ne seront pas pris en compte. Cependant, il serait judicieux que les parties prenantes à ces accords basés sur cette partie du guide étudient la possibilité d'utiliser les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-dessous. Quant aux références non datées, l'édition qui fait foi est la plus récente du document normatif auquel il fait référence. Les membres de la norme ISO tiennent les registres des certifications ISO et EN en vigueur :

- a) DTIM 01.40:2015[F] *Glossaire des Termes, Définitions et Abréviations*. UNODA. 2015.

Il est conseillé d'utiliser la récente version/édition de ces références. Le Bureau des Affaires de désarmement des Nations Unies (UNODA) conserve une copie de toutes les références⁴² utilisées dans ce guide. La récente 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/disarmament/un-safeguard/. Il est conseillé aux autorités nationales, aux employeurs et autres instances et organisations concernées de se procurer des copies de ces textes avant de lancer un programme de gestion des stocks de munitions conventionnelles.

⁴² Lorsque le droit d'auteur le permet

Annexe B (informative) Références

Les documents d'information suivants contiennent des dispositions qui devraient également être consultées pour fournir davantage d'informations de fond sur le contenu de cette directive :

- a) *Risques d'Explosion et Evaluation*. W E Baker et coll. et Elsevier. (ISBN 0 444 42 094 0). Amsterdam. 1983 ;
- b) La DTIM 02.10 : 2015[F] *Principes et procédures de gestion des risques*. UNODA. 2015 ;
- c) *Selection and Use of Explosion Effects and Consequence Models for Explosives*. UK Health and Safety Executive. (ISBN 0 7176 1791 2). UK. 2000 ;(*Sélection et Utilisation des Effets d'Explosion et des modèles de conséquences pour les explosifs*. Responsable de la santé et de la sécurité au Royaume-Uni. (ISBN 0 7176 1791 2). ROYAUME-UNI. 2000) et
- d) Note technique de l'action contre les mines (NTAM) 10,20/01 *Estimations des zones de danger explosif* (Version 2.0). Genève. CIGHD.

Il est conseillé d'utiliser la récente version/édition de ces références. Le Bureau des Affaires de désarmement des Nations Unies (UNODA) conserve une copie de toutes les références⁴³ utilisées dans ce guide. La récente 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/disarmament/un-safeguard/. Il est conseillé aux autorités nationales, aux employeurs et autres instances et organisations concernées de se procurer des copies de ces textes avant de lancer un programme de gestion des stocks de munitions conventionnelles.

⁴³ Lorsque le droit d'auteur le permet

