



Guide d'atténuation des effets du souffle d'explosion GSMGC-002 (2021)

Préparé par :
Gendarmerie royale du Canada
Principal organisme responsable de la sécurité matérielle
Sous-direction de la sécurité ministérielle
DG, 73, promenade Leikin, Ottawa (Ontario) K1A 0R2
Date de publication : 2020-03-04
Date de modification : 2021-06-30

Avant-propos

Le Guide d'atténuation des effets du souffle d'explosion est une publication NON CLASSIFIÉE, publiée avec l'autorisation du principal organisme responsable de la sécurité matérielle de la Gendarmerie royale du Canada (POR de la GRC).

Cette publication du gouvernement du Canada constitue une ligne directrice sur les éléments à considérer pour l'atténuation des effets du souffle d'explosion par les ministères, les agences et les employés du gouvernement du Canada.

Les suggestions de modifications peuvent être envoyées au principal organisme responsable de la sécurité de la GRC, à RCMP.LSA-GRC.POSM@rcmp-grc.gc.ca.

Date d'entrée en vigueur

La date d'entrée en vigueur du Guide d'atténuation des effets des explosions est le 2020-03-04.

Registre des modifications

N° de modification	Date	Saisie par	Résumé de la modification
1	2021-06-30	S. Nattress	Ajout du texte Alt pour la publication en HTML et ajout de la mise en garde SA&A.

Remarque : le responsable des modifications est le principal organisme responsable de la sécurité matérielle de la Gendarmerie royale du Canada (POR de la GRC).

Table des matières

Avant-propos.....	2
Date d'entrée en vigueur.....	2
Registre des modifications	2
1. Introduction.....	5
1.1. Objectif.....	5
1.2. Applicabilité	5
2. Coordonnées.....	6
3. Définitions.....	6
3.1. Liste d'abréviations et d'acronymes.....	6
4. Souffle d'explosion	6
4.1. Aperçu du souffle d'explosion	6
4.2. Méthodes de livraison.....	7
4.3. Effets du souffle d'explosion.....	8
5. Établissement des exigences relatives à la résistance aux explosions	11
5.1. Variabilité dans la conception.....	11
5.2. Normes de conception	13
5.3. Objectifs de la conception.....	13
5.4. Menaces de référence (MdR)	13
5.5. Niveaux de protection (NdP) du bâtiment.....	14
5.6. Études de résistance au souffle d'explosion et experts-conseils	15
6. Mesures d'atténuation – Distance de sécurité.....	16
6.1. Zones de sécurité pour piétons.....	16
6.2. Distance de sécurité pour les véhicules.....	17
6.3. Atténuation des risques liés aux véhicules hostiles	18
6.4. Détection périmétrique des intrusions	18
6.5. Vidéosurveillance périmétrique.....	19
7. Éléments à considérer	20
7.1. Méthodes d'atténuation.....	20
7.2. Construction neuve/construction existante.....	20
7.3. Structures temporaires.....	21
7.4. Murs extérieurs et structure.....	21
7.5. Poteaux	22
7.6. Fenêtres	24

7.7. Portes.....	27
7.8. Points d'entrée et aires d'accueil	29
7.9. Voies d'évacuation.....	30
8. Contenu complémentaire	31
8.1. Références	31
Promulgation	32

1. Introduction

La GRC, en tant que principal organisme responsable (POR) de la sécurité matérielle pour le gouvernement du Canada, est responsable de fournir des conseils et des orientations sur toutes les questions concernant la sécurité matérielle. Cela comprend les éléments dont il faut tenir compte une fois qu'il a été déterminé que des mesures d'atténuation des effets du souffle d'explosion sont requises pour un emplacement ou une application précis.

1.1. Objectif

Le présent manuel vise à donner aux employés du gouvernement du Canada de l'information sur la dynamique du souffle d'explosion et sur les bons éléments à prendre en compte lorsqu'il a été décidé de mettre en place des mesures d'atténuation des effets du souffle, et à quoi s'attendre et qui consulter lors de l'élaboration d'un plan adéquat visant l'ajout de mesures d'atténuation des effets du souffle dans un projet, un bâtiment ou une application.

1.2. Applicabilité

Les éléments à considérer décrits dans le présent guide doivent être utilisés dans la planification, la conception et la mise en œuvre des mesures d'atténuation du souffle d'explosion utilisées par les ministères et agences du gouvernement du Canada (GC).

Le document sera mis à jour régulièrement pour inclure de nouvelles lignes directrices ou mettre à jour de l'information existante au fur et à mesure de l'évolution du programme.

1.3. Considérations relatives aux technologies de l'information

Suite aux menaces qui évoluent constamment et l'intégration de la sécurité physique et de la technologie de l'information (TI), il est essentiel d'évaluer le risque de toute application et/ou de tout logiciel connecté à un réseau pour faire fonctionner et soutenir l'équipement dans les bâtiments contrôlés par le gouvernement du Canada.

Avant de mettre en œuvre des applications et/ou des logiciels qui contrôleront et/ou automatiseront certaines fonctions de l'immeuble, votre service de sécurité ministériel exige la réalisation d'une évaluation et d'une autorisation de sécurité (SA&A). Cela permettra de s'assurer que l'intégrité et la disponibilité des composants que les applications et/ou logiciels contrôlent sont maintenues et que tout risque mis en évidence sera atténué. Il est fortement recommandé de commencer le processus SA&A tôt afin de s'assurer que les calendriers de livraison des projets ne sont pas affectés. Pour plus d'informations sur le processus SA&A, veuillez consulter votre service de sécurité ministériel.

2. Coordonnées

Pour plus d'information, veuillez communiquer avec :

Gendarmerie royale du Canada
Principal organisme responsable de la sécurité matérielle
73, promenade Leikin, arrêt postal n° 165
Ottawa (Ontario)
K1A 0R2
Courriel : RCMP.LSA-GRC.POSM@rcmp-grc.gc.ca.

3. Définitions

3.1. Liste d'abréviations et d'acronymes

Abréviation/acronyme	Signification
AC	Autorité compétente
MdR	Menace de référence
NdP	Niveau de protection
EMR	Évaluation de la menace et des risques
VBIED	Engin explosif improvisé placé dans un véhicule
PBIED	Engin explosif improvisé porté par une personne
PRF	Polymères renforcés de fibres
PRFC	Polymères renforcés de fibres de carbone
PAE	Pellicule anti-éclats
EM	Expert en la matière

4. Souffle d'explosion

4.1. Aperçu du souffle d'explosion

L'étude du souffle d'explosion et de ses effets sur les structures est extrêmement complexe, et la science à ce sujet est en constante évolution. La physique du souffle d'explosion et les systèmes d'analyse de la propagation des ondes de souffle et de leur interaction avec les structures sont particulièrement complexes lorsque l'on tient compte des formes des édifices et des paysages urbains. Les divers matériaux et méthodes de construction utilisés présentent un vaste éventail de résultats possibles dans différentes conditions d'explosion. En outre, la détermination exacte de l'endroit ou du moment où se produira probablement une attaque, le type d'arme utilisé et l'efficacité générale de l'arme ajoutent à la complexité.

Le résultat général de cette variabilité rend impossible l'élaboration de stratégies d'atténuation permettant de s'attaquer aux menaces d'explosion de manière absolue. La meilleure méthode consiste à élaborer une stratégie d'atténuation qui aborde tous les scénarios de menaces connus tout en tentant de tenir compte des conditions futures inconnues en ayant recours aux meilleurs renseignements disponibles.

Il existe toutefois un concept avec lequel tous les concepteurs de mesures d'atténuation du souffle d'explosion sont d'accord : la marge de recul est votre meilleure alliée pour atténuer les effets du souffle d'explosion. Toute mesure visant à améliorer la marge de recul (distance de sécurité entre une menace potentielle et un bien) devrait être prise en compte et mise en œuvre lorsque c'est possible.

**LA MARGE DE RECU
EST VOTRE MEILLEURE
ALLIÉE POUR
ATTÉNUER LES EFFETS
DU SOUFFLE
D'EXPLOSION.**

Étant donné les dommages, les impacts et les blessures potentiellement importants que même une explosion modeste peut causer, il est recommandé d'envisager des systèmes d'atténuation des effets du souffle d'explosion dans les entrées, les aires d'accueil, les zones de chargement, les murs extérieurs, les fenêtres et le toit de toute installation jugée à risque d'attaque à l'explosif d'après une EMR. Les mesures de sécurité recommandées respectent les pratiques utilisées par les agences étrangères et nationales aux profils de menace similaires à ceux des ministères et agences du GC. Ces mesures de sécurité sont recommandées pour limiter les effets du souffle d'explosion.

L'objectif de chaque mesure d'atténuation des effets du souffle d'explosion ou des mesures d'amélioration de la résistance aux explosions est :

- de protéger tous les occupants du bâtiment;
- de réduire au minimum les dommages à la propriété;
- d'aider au maintien de la continuité des activités.

4.2. Méthodes de livraison

Les méthodes de livraison d'explosif ou de bombe généralement utilisées par les attaquants contre des bâtiments appartiennent généralement à l'une des deux catégories suivantes : portés par une personne ou placés dans un véhicule.

- **Engin explosif improvisé porté par une personne (PBIED)** – consiste généralement en une bombe artisanale fabriquée et déployée par un humain par d'autres moyens que ceux utilisés lors d'opérations militaires classiques. Ces engins peuvent inclure : gilets explosifs, bombes-tuyaux, bombes dans un sac à dos ou un sac, etc.
- **Engin explosif improvisé placé dans un véhicule (VBIED)** – engin explosif improvisé placé dans un véhicule puis déclenché à distance. Couramment utilisé comme arme pour commettre un assassinat, un acte de terrorisme, etc., dans le but de tuer les occupants d'un véhicule, les personnes à proximité du site d'explosion ou d'endommager des

bâtiments ou autres biens. Des exemples de ces engins comprennent les attentats à la bombe de 1996 à Oklahoma City et les VBIED trouvés à Trafalgar Square, à Londres (R.-U.) en 2007.

4.3. Effets du souffle d'explosion

L'explosion d'explosifs conventionnels (chimiques) cause une réaction chimique rapide. L'explosion est décrite comme une détonation ou une déflagration en fonction de la vitesse de la réaction. Les effets des détonations et des déflagrations fortes comprennent principalement le souffle et la projection de fragments et de débris.¹

Une explosion crée un effet de souffle, qui se propage en cercles depuis le centre de l'explosion. Au fur et à mesure que l'onde de souffle se propage, elle le fait selon une courbe pression-temps caractéristique, selon laquelle plus le souffle s'éloigne du centre de l'explosion (distance de sécurité), plus la surpression de crête diminue. Voir la figure 4-1.

Les deux références suivantes sont présentées pour illustrer la puissance destructrice d'une charge relativement modeste pouvant facilement être transportée par une personne. Veuillez noter que les données varient légèrement selon l'échelle et la présentation des graphiques utilisés à titre de référence.

- Une charge de 22,5 kg (50 lb) peut faire céder des poteaux de béton [non protégés par des mesures d'atténuation] à une distance de sécurité de moins de 4,5 m (15 pi) et causer la fragmentation d'un mur à une distance pouvant aller jusqu'à 20 m (65 pi).²
- Une charge de 20 kg (44 lb) cause la destruction de la plupart des bâtiments [non protégés par des mesures d'atténuation] à l'intérieur d'une distance de sécurité de 8 m, des dommages aux structures de béton armé jusqu'à une distance de 22 m (72 pi) et la défaillance des murs de maçonnerie à une distance de 30 m (100 pi).³

Les forces d'une charge, même relativement petite, exercées sur des structures peuvent être extrêmes. De modestes pressions de souffle imposées à un mur peuvent causer l'équivalent de beaucoup de tonnes métriques de force. Des mesures d'atténuation mal conçues peuvent causer la défaillance d'un mur, d'une fenêtre ou même d'une structure, avec pour résultat des blessures graves ou des décès.

¹ SPIEZ LABS, « *Mitigation of Terrorist Attacks Vehicle Borne Improvised Explosive Devices Manual* », LS2009-05

² Tableau 4-5 - FEMA 426 Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings.

³ Tableau 5.8 – Mitigation of Terrorist Attacks with Vehicle Borne Improvised Explosive Devices by Federal Office for Civil Protection (Swiss FOCP).

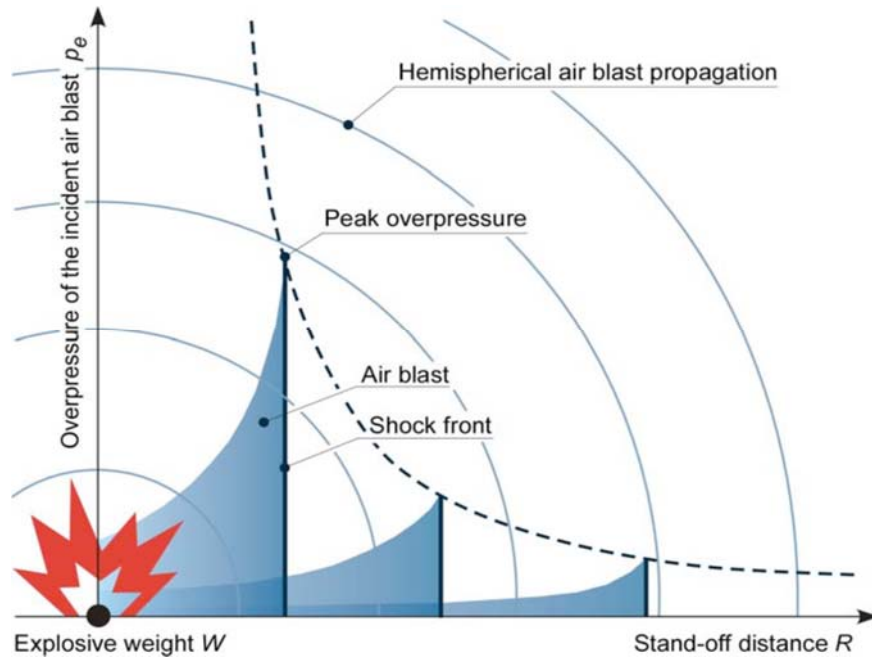


Figure 4-1, Propagation de l'onde de souffle [6].

(Texte alternatif : graphique de la figure 4-1 illustrant la propagation du souffle d'air - L'axe vertical du graphique linéaire indique la surpression du souffle d'air incident. La ligne horizontale du graphique linéaire illustre le poids de l'explosif et la distance de sécurité. La ligne verticale et la ligne horizontale du graphique se coupent au point de poids explosif. La puissance générée par l'explosion crée des ondes de propagation de souffle d'air sphérique comme le souffle de l'air, y compris le souffle d'air, le front de choc et la surpression maximale. Plus la distance (distance de sécurité) de la source de l'explosion est grande, plus la surpression maximale diminue).

Overpressure of the incident air blast P_e	Surpression de l'effet de souffle de l'incident P_e
Hemispherical air blast propagation	Propagation hémisphérique du souffle
Peak overpressure	Surpression de crête
Air blast	Souffle
Shock front	Front de choc
Explosive weight W	Poids d'explosif P
Stand-off distance R	Distance de sécurité R

Surpression et impulsion

La surpression est un paramètre du souffle bien compris associé aux dommages causés aux bâtiments. La capacité explosive est souvent décrite en termes de niveau de surpression sans tenir compte de la durée de la charge d'explosion, toutefois la durée de la charge d'explosion est extrêmement importante quant aux dommages produits par cette dernière. Le concept de surpression du souffle est plus facile à comprendre, car les gens sont familiers avec la signification physique de la pression.

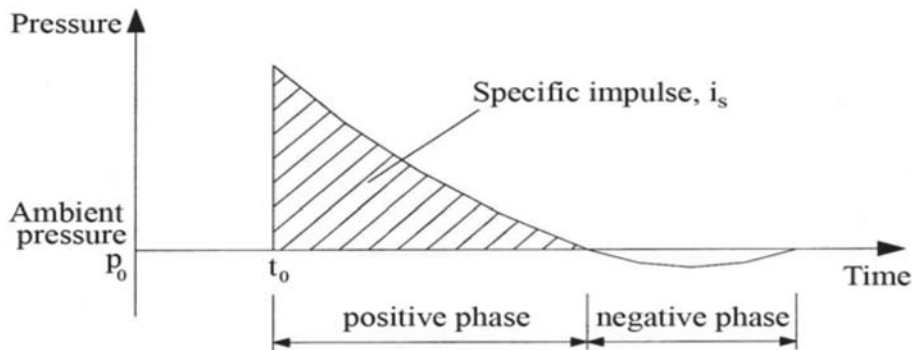


Figure 4-2, Onde de souffle présentée en fonction du temps [7].

(Texte alternatif : Figure 4-2 graphique décrivant l'historique de la pression au fil du temps tel que défini au paragraphe Surpression et impulsion. La ligne verticale du graphique représente la pression. La ligne horizontale du graphique représente le temps de l'explosion, y compris les phases positive et négative. À moment de la pression de souffle est noté P_0 , le moment de l'explosion est noté t_0 et l'impulsion spécifique (charge ou puissance de l'explosion) est notée i_s . L'axe vertical indique l'augmentation rapide de la pression au moment de l'explosion, la L'axe horizontal indique la diminution de la pression à la pression négative (ou dépression) au fil du temps après l'explosion. La ligne d'impulsion spécifique indique la dissipation de la charge de l'explosion au fil du temps, donc essentiellement la façon dont la charge de l'explosion passe de la détonation à la dissipation.)

Pressure	Pression
Ambient pressure	Pression ambiante
Specific impulse	Impulsion spécifique
Positive phase	Phase positive
Negative phase	Phase négative
Time	Durée

Charges d'explosion d'explosifs brisants : les détonations sont typiquement caractérisées par une élévation instantanée de la pression au-dessus de la pression ambiante (surpression) jusqu'à une valeur de crête, suivies par un déclin rapide jusqu'à la pression ambiante, puis par une dépression (pression négative). Cette pression négative est souvent d'amplitude beaucoup plus faible, mais de durée plus longue que la phase positive de la charge. La Figure 4-2 montre l'historique de la pression en fonction du temps d'une charge d'explosion type. Une charge d'explosion de ce type est caractérisée par la pression de crête, la durée de la charge et l'impulsion.

L'impulsion est une mesure de la charge totale appliquée et constitue un paramètre clé pour étudier la réponse des éléments structuraux et non structuraux aux charges d'explosion. Les spécialistes des explosions ne doivent pas seulement se référer à la surpression du souffle, mais inclure la durée et l'impulsion pour effectuer un examen complet d'un scénario d'explosion.

Effet des explosifs sur les bâtiments

La face avant d'un bâtiment (la plus près de l'explosion) subit des surpressions de crête en raison des réflexions de l'onde de souffle externe. Une fois que l'onde de souffle initiale est passée sur la surface réfléchissante du bâtiment, la surpression sur la face retombe à zéro. Alors

que les faces latérales et supérieure du bâtiment sont exposées à des surpressions (qui ne sont pas réfléchies et sont donc moins élevées que sur la face avant), la surpression du souffle s'atténue sur la face avant pour résultat une « pression négative ». L'arrière de la structure n'est soumis à aucune pression jusqu'à ce que l'onde de choc ait parcouru toute la longueur de la structure et que les ondes de compression aient commencé à « entourer » le bâtiment. Ainsi, l'accumulation de pression n'est pas instantanée et il y a un délai entre le développement des pressions et des charges sur les faces avant et arrière. Ce délai a pour effet de causer l'action de forces de translation dans la direction de l'onde de choc.

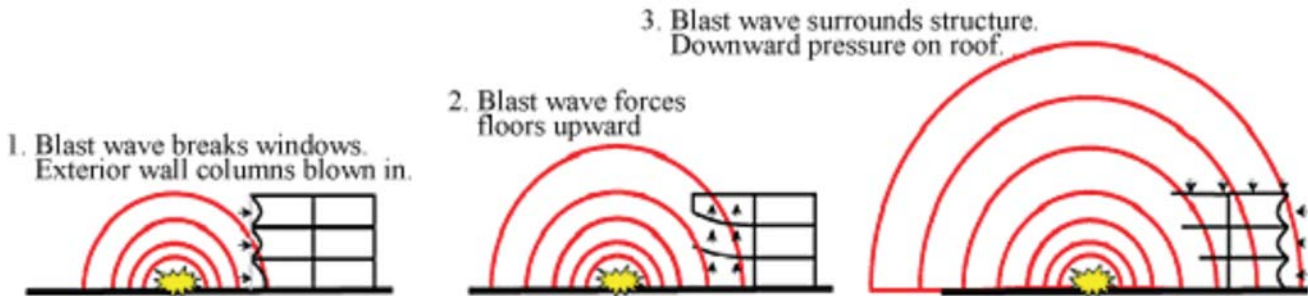


Figure 4-3, Effets du souffle d'explosion [9].

(Texte alternatif : la figure 4-3 illustre comment les forces de l'onde de choc affectent un bâtiment. La phase 1 de l'onde de choc provoque le bris de fenêtres et des dommages aux colonnes du mur extérieur qui sont soufflées. La phase 2 de l'onde de choc force le sol du bâtiment ou la structure vers le haut. La phase 3 de l'onde de choc entoure tout le bâtiment en exerçant une pression vers le bas sur le toit de la structure qui affecte le côté opposé du bâtiment.)

1. Blast wave breaks windows. Exterior wall columns blown in.	2. L'onde de choc brise les fenêtres. Les poteaux du mur extérieur sont soufflés vers l'intérieur.
3. Blast wave forces floors upward	4. Les forces de l'onde de choc causent le soulèvement des planchers.
5. Blast wave surrounds structure. Downward pressure on roof.	6. L'onde de choc entoure la structure. Pression vers le bas exercée sur le toit.

5. Établissement des exigences relatives à la résistance aux explosions

Lorsqu'on établit les exigences relatives à la protection contre les explosions, il faut mener une analyse/recherche des menaces pour déterminer quels types d'attaques à l'explosif sont probables, définir avec précision les attaques en termes de méthode de livraison, de poids de la charge et d'emplacement (scénario), et déterminer le résultat voulu pour chaque scénario d'attaque.

Cette section traitera de la variabilité dans les approches de calcul et de conception, les divers normes, méthodes et modèles disponibles, et les objectifs de conception de sécurité, ainsi que de la manière de définir les menaces de référence détaillées, les niveaux de protection, et la manière d'embaucher un expert en la matière et de mener des études.

5.1. Variabilité dans la conception

Par le passé, établir des stratégies adéquates d'atténuation de l'effet du souffle qui répondent

aux préoccupations de toutes les parties prenantes s'est avéré extrêmement difficile et problématique. Les définitions des menaces étaient souvent basées sur les antécédents et les expériences des personnes qui menaient les évaluations, ce qui avait pour résultat des recommandations non uniformes ou ne pouvant être interprétées ou appliquées dans un sens large.

Contrairement à certains partenaires de sécurité étrangers, le Canada n'a pas une longue histoire d'attaquants utilisant de grandes quantités d'explosifs. En raison du nombre relativement petit d'incidents d'explosion au Canada, tout un éventail d'approches et de philosophies divergentes s'est développé dans l'ensemble du gouvernement. Jusqu'à récemment, de nombreuses parties prenantes ont minimisé ou rejeté les menaces d'explosion, alors que la plupart des experts en explosions jugeaient ces menaces hautement probables à long terme, ce qui a également eu pour résultat des approches d'atténuation inégales ou ne pouvant pas être interprétées ou appliquées dans un sens large. En outre, il est extrêmement difficile d'établir les menaces d'explosion à long terme dans le contexte d'une dynamique mondiale changeante.

Chez les experts en protection contre les effets du souffle d'explosion, il existe diverses méthodes de calcul et de conception ainsi qu'un risque d'erreur. Différents experts des explosions préfèrent différentes méthodes de calcul, ce qui mène parfois à des divergences, car les calculs de charge d'explosion sont grandement tributaires de l'analyse de l'expert des explosions et des modèles de détermination de la charge utilisés. De plus, les explosifs n'agissent pas tous de la même façon - certains sont moins efficaces que d'autres selon le poids de la charge, l'équivalent TNT est donc normalement utilisé pour déterminer la charge d'explosion. L'équivalent TNT et les méthodes de conversion utilisées pour tenir compte des différents types d'explosifs ajoutent à la variabilité dans les calculs de conception, et par ricochet dans les mesures d'atténuation recommandées.

Pour réduire la variabilité potentielle et améliorer l'uniformité dans les mesures d'atténuation du souffle dans divers projets, le programme de sécurité matérielle des ministères ou les agences du GC devrait prévoir ce qui suit :

- appliquer de la constance et de la rigueur dans les processus d'évaluation de la menace et des risques (EMR);
- faire participer de multiples intervenants et experts aux processus d'EMR;
- se référer aux EMR antérieures pour déterminer les tendances et les points communs;
- examiner en profondeur et justifier tout écart important par rapport aux évaluations précédentes;
- les EMR devraient inclure des menaces d'explosion correspondant à la durée de vie prévue du bâtiment;
- l'analyse du souffle d'explosion devrait être revue par des pairs;
- s'assurer que les méthodes d'analyse du souffle sont conformes ou équivalentes aux normes nationales et aux analyses précédentes (lorsque c'est possible);
- appliquer des méthodes/modèles d'équivalent TNT uniformes pour le poids de la charge.

5.2. Normes de conception

Des normes internationales sont couramment utilisées, comme UFC, DoS et CPNI, mais au Canada, les experts et les concepteurs doivent utiliser la norme CSA S850-F12, Calcul et évaluation des bâtiments soumis à des charges d'explosion, comme principale référence de conception. Cette norme applique une approche uniforme à la conception des mesures de protection contre les effets du souffle, elle vise à éliminer le plus possible les variations et elle doit servir de critère de référence pour l'analyse et la conception des nouveaux bâtiments et l'évaluation des bâtiments existants pour déterminer leur résistance aux charges d'explosion.

La norme CSA S850-F12 exige que les menaces de référence (MdR) et les niveaux de protection (NdP) soient établis par le propriétaire du bâtiment (ou l'AC) avec suffisamment de détails pour permettre aux ingénieurs en explosifs et aux experts-conseils d'élaborer des systèmes d'atténuation des effets du souffle adéquats et efficaces en termes de coûts.

5.3. Objectifs de la conception

Dans un bâtiment conçu pour résister à l'explosion, l'objectif est de limiter l'étendue et la gravité des dommages dus au souffle de l'explosion afin de limiter le nombre des victimes et les dommages à la propriété, tout en permettant l'évacuation des occupants du bâtiment où une explosion a eu lieu.⁴

Des objectifs de performance doivent également être définis pour chaque structure, bâtiment ou partie de bâtiment nécessitant une protection contre les explosions. Il faut fournir à l'équipe de conception les objectifs ou les intentions de la conception pour orienter la conception des systèmes de protection contre le souffle d'explosion. Les objectifs doivent viser la prévention de l'effondrement progressif, la protection des occupants (sauver des vies et réduire les blessures au minimum) et le contrôle des effets dommageables du souffle (autant à l'intérieur qu'à l'extérieur du bâtiment) dans la mesure du possible étant donné les menaces de référence et les limites physiques des structures et systèmes.

5.4. Menaces de référence (MdR)

Établir les menaces de référence est une première étape obligatoire dans la conception de mesures d'atténuation du souffle. D'après le processus décrit dans la norme S850-F12, le propriétaire du bâtiment et/ou l'autorité compétente doit élaborer une MdR spécifique au bâtiment/projet sur la base des menaces projetées déterminées dans l'EMR. Il est important de bien comprendre que la MdR ne doit être utilisée que comme critère de conception et ne représente pas nécessairement une menace réelle ; en réalité, une MdR peut être dépassée ou ne jamais se produire durant la durée de vie d'une installation, en fonction de l'occurrence ou non d'explosions et de la manière dont ces événements se produisent.

De multiples scénarios de MdR peuvent être définis pour tenir compte des multiples menaces possibles. Chaque scénario de menace doit être défini en termes de taille ou de masse, de type d'explosif (ou d'équivalent TNT) et d'emplacement de la charge explosive.

⁴ S850-F12, Calcul et évaluation des bâtiments soumis à des charges d'explosion

Menace de référence (MdR) - la MdR est le résultat des exigences du propriétaire. Chaque MdR doit être définie à partir de la taille, de la nature et de l'emplacement de la source de l'explosion ou des charges d'explosion. Le propriétaire du bâtiment doit indiquer les objectifs de performance pour la conception, qui doivent être conformes à l'évaluation des risques. L'objectif de performance doit inclure un NdP global voulu pour un bâtiment, un composant ou l'enveloppe, et d'autres objectifs de performance peuvent être inclus. La MdR doit préciser les charges d'explosion ou les scénarios pour lesquels le bâtiment doit être conçu.

5.5. Niveaux de protection (NdP) du bâtiment

La norme CSA S850-F12 propose des modèles de protection, qui vont d'une protection faible à très élevée. Les mesures de protection très élevée sont généralement très dispendieuses et complexes à mettre en œuvre, à utiliser et à entretenir. Comme pour la MdR, définir le NdP fait partie des exigences obligatoires d'une conception visant à limiter les effets du souffle d'explosion.

Sur la base de la probabilité de l'occurrence, de la criticité du bien et des coûts associés, une approche variable à l'application du NdP peut être adoptée. Les propriétaires de bâtiments peuvent appliquer divers NdP dans un portefeuille de bâtiments ou dans des zones précises d'un seul bâtiment, en fonction des biens protégés ou de la criticité des opérations.

Niveau de protection (NdP) du bâtiment et de la structure

- **Très faible (TF)**, classé « prévention d'affaissement ». L'affaissement progressif est atténué, mais il est peu probable que l'on puisse rentrer à nouveau sans danger dans le bâtiment. Les survivants devraient pouvoir être en mesure d'évacuer le bâtiment, dont le contenu peut avoir été durement touché.
- **Faible (F)**, classé « sécurité des personnes ». L'affaissement progressif est possible, mais les réparations peuvent être coûteuses. L'évacuation des survivants, et la possibilité de rentrer à nouveau dans le bâtiment de façon temporaire, sont probables. Le contenu du bâtiment est intact, mais non fonctionnel.
- **Moyen (M)**, classé « occupation immédiate ». Dommages structurel possible, mais les réparations sont acceptables du point de vue financier. Les occupants peuvent devoir être évacués de façon temporaire, mais ils pourront réintégrer le bâtiment et reprendre leur travail une fois le nettoyage et les réparations effectués. Le contenu du bâtiment devrait être au moins partiellement fonctionnel.
- **Élevé (E)**, classé « opérationnel ». Dommages minimes, localisés. La marche normale et l'occupation du bâtiment sont relativement peu touchées et son contenu demeure normalement entièrement fonctionnel.

Damage aux composants et à l'enveloppe du bâtiment – La norme CSA S850-F12 tient aussi compte des dommages aux composants de bâtiment, comme les composants de structure principaux, de structure secondaires ou non structuraux, et classe les dommages de superficiels à dangereux. D'autres éléments de l'enveloppe du bâtiment, y compris les vitrages et les portes, sont également classés. Les dommages aux vitrages sont classés de

danger faible à aucun bris, alors que les dommages aux portes sont classés de catégorie I à défaillance. Pour plus de détails sur la classification des dommages aux composants et à l'enveloppe de bâtiment, consulter la norme CSA S850-F12.

5.6. Études de résistance au souffle d'explosion et experts-conseils

Une fois que la MdR et le NdP requis ont été établis pour un bâtiment donné ou une partie de ce dernier, une analyse doit être réalisée par un ingénieur en explosifs agréé. Ce professionnel peut confirmer les hypothèses concernant la résistance de la structure donnée aux effets du souffle. L'analyse doit inclure l'ensemble des murs, des planchers et des portes et fenêtres.

Pour assurer l'application uniforme des mesures d'atténuation des effets du souffle, l'équipe de la sécurité matérielle du ministère ou de l'agence du GC devrait travailler avec l'expert-conseil sur les explosions lors de l'examen de la stratégie du projet. L'objectif est de veiller à ce que les méthodes d'atténuation des effets du souffle fassent partie intégrante d'une stratégie globale d'atténuation des menaces dans tout le bâtiment ou l'installation (et dans l'ensemble du ministère ou de l'agence, le cas échéant).

Pour tout projet donné, il faut élaborer des options de conception et réaliser des études pour déterminer les meilleures méthodes les plus économiques qui pourraient être utilisées pour atténuer le plus possible les effets du souffle d'explosion. Les technologies et les connaissances sur l'atténuation des effets du souffle sont en constante évolution et si de nouvelles méthodes d'atténuation deviennent disponibles au cours du projet, il faut les prendre en compte. [Le programme de Recherche et développement pour la défense Canada (RDDC), qui teste et évalue les effets du souffle sur les bâtiments historiques, est un exemple de recherche et de développement continu.]

Les plans et concepts d'atténuation des effets du souffle doivent être élaborés en conjonction avec tout système d'atténuation des effets des séismes planifiés. En outre, il faut analyser toutes les mesures parasismiques pour déterminer les synergies potentielles avec les systèmes d'atténuation des effets du souffle, ou les entraves à ces derniers.

Lors de la sélection d'un expert-conseil sur les effets du souffle, il faut inclure les éléments suivants dans les documents contractuels :

- expérience en conception des mesures de protection contre le souffle d'explosion;
- expertise à l'interne ou à l'externe;
- crédibilité;
- références;
- cotes de sécurité.

Lorsqu'il examine les rapports et les livrables de l'expert-conseil, le responsable technique doit :

- s'assurer que les analyses et les propositions relatives à l'atténuation des effets du souffle sont solides;
- effectuer un examen technique;
- faire examiner les propositions par un tiers parti (pair);
- s'assurer que les produits et systèmes recommandés sont éprouvés en fonction de normes acceptées.

6. Mesures d'atténuation – Distance de sécurité

L'énergie produite par le souffle d'explosion baisse rapidement avec la distance. En général, le coût associé aux mesures de protection des biens diminue avec l'augmentation de la distance entre un bien et la menace, comme l'illustre la Figure 6-1. Toutefois, pour augmenter la distance de sécurité il faut protéger une plus grande superficie de propriété et un plus grand périmètre avec des barrières, ce qui nécessite d'augmenter les mesures de renforcement de périmètre pour offrir le niveau de protection requis. [13]

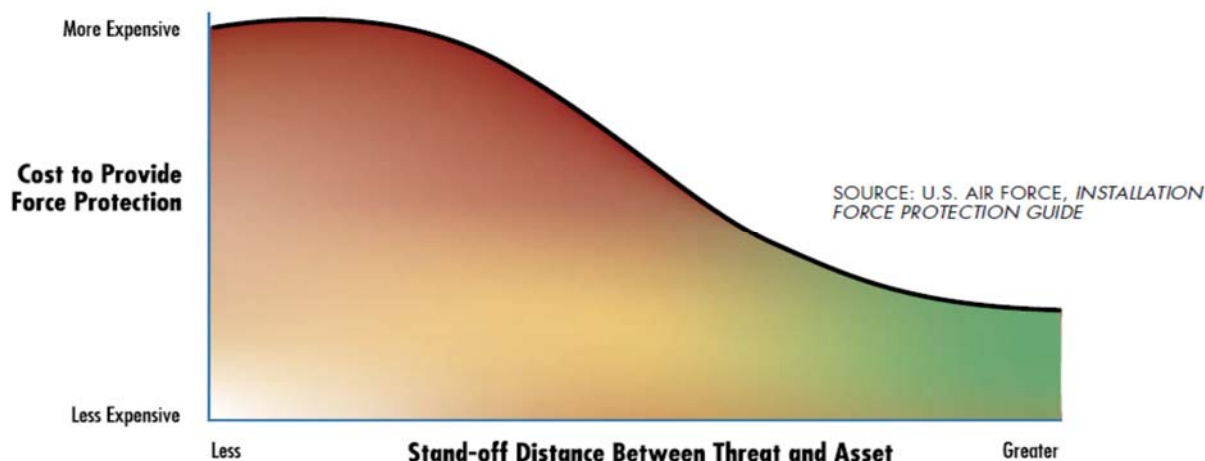


Figure 6-1 Rapport coût-distance de sécurité [13].

(Texte alternatif : la figure 6-1 est un graphique illustrant la relation de coût entre le coût de la protection contre la force sur la distance de sécurité. La ligne verticale du graphique représente le coût de la protection contre la force. À la base de l'axe, le coût est moins cher et en haut de la ligne, le coût de la protection de la force augmente pour devenir plus cher. La ligne horizontale du graphique représente la distance de sécurité entre la menace et l'actif. Le long de cette ligne horizontale, la distance de sécurité entre la menace La ligne noire incurvée représente le coût de la protection et montre que lorsque la distance de sécurité augmente par rapport à l'actif, le degré de blessure causé par la menace diminue, ce qui se traduit par une meilleure protection et une protection de la force moins coûteuse.)

More Expensive	Plus dispendieux
Cost to Provide Force Protection	Coûts de protection de la force
Less Expensive	Moins dispendieux
Less	Moins grande
Stand-off Distance Between Threat and Asset	Distance de sécurité entre la menace et le bien
Greater	Plus grande
SOURCES: US AIR FORCE, INSTALLATION FORCE PROTECTION GUIDE	SOURCES: US AIR FORCE, INSTALLATION FORCE PROTECTION GUIDE

6.1. Zones de sécurité pour piétons

Dans les situations où il faut maintenir un accès public à des zones près d'une installation, mais que l'EMR détermine qu'il existe un risque d'attaque avec PBIED, il faut tout faire pour établir des zones adéquates pour détecter et décourager tout accès non autorisé à la façade du bâtiment.

L'application des zones suivantes devrait être envisagée.

Zone d'exclusion

- Une zone juste à côté de la façade d'un bâtiment surveillée en permanence par des personnes ou des moyens électroniques doit être établie.
- Il faut demander à toutes les personnes qui entrent dans cette zone sans autorisation de quitter la zone. Aucun article ne doit être laissé sans surveillance.
- La zone d'exclusion doit se prolonger d'un minimum de 3 m (10 pi) devant la façade.

Zone de surveillance

- Au-delà de la zone d'exclusion, il faut établir une zone surveillée par le personnel de sécurité local en plus de systèmes électroniques.
- Les articles de 25 kg (50 lb) ou plus apportés dans la zone doivent être examinés minutieusement et/ou faire l'objet d'une inspection manuelle par le personnel de sécurité. Ces articles peuvent comprendre de gros colis, des valises, des sacs, des poussettes, des chariots, etc.
- La zone de surveillance doit se prolonger d'un minimum de 30 m (10 pi) en moyenne devant la façade.

Barrières et prévention du crime par l'aménagement du milieu (PCAM)

- Les zones de surveillance et d'exclusion doivent être délimitées par une combinaison de techniques courantes de PCAM, ce qui comprend des aménagements paysagers, des murs, des bermes et des barrières ou bancs sculpturaux.

Des éléments naturels ou bâtis, très visibles, quoique décoratifs, doivent être utilisés pour indiquer clairement au public qu'il ne doit pas approcher de la façade. Des éléments naturels comme des plantes, des aménagements paysagers ou la topographie doivent guider les visiteurs loin de la façade. Des éléments bâtis comme des clôtures décoratives et de la signalisation doivent décourager les gens d'entrer et leur indiquer clairement qu'il est interdit d'entrer.

Il faut installer des panneaux de signalisation qui informent le public qu'il est surveillé lorsqu'il se trouve dans des zones de surveillance. Les sentiers et les allées doivent être aménagés de manière à créer la plus grande distance de sécurité possible. Les points où les sentiers et allées pour piétons qui doivent passer dans une zone d'exclusion doivent être limités aux endroits où l'accès à des points d'entrée est nécessaire. Outre ces endroits, les sentiers piétonniers ne doivent pas traverser une zone d'exclusion.

6.2. Distance de sécurité pour les véhicules

Pour maintenir les distances de sécurité, il est extrêmement important que les installations d'inspection des véhicules et les systèmes de barrière sur le périmètre d'un bâtiment demeurent entièrement fonctionnels, efficaces et opérationnels. Dans le cas où les systèmes périmétriques ne peuvent pas respecter la distance de sécurité, les hypothèses de conception et les mesures d'atténuation du bâtiment ne seraient plus valides.

Seuls les véhicules entièrement contrôlés et inspectés par une installation d'inspection de véhicules ou une autre installation de confiance doivent pouvoir accéder aux voies adjacentes au bâtiment. Même si les véhicules qui circulent sur ces voies sont approuvés, le stationnement de véhicules dans le périmètre du bâtiment doit être minimisé dans la zone de surveillance.

6.3. Atténuation des risques liés aux véhicules hostiles

Les restrictions d'accès pour les véhicules sont un moyen viable de créer une distance de sécurité. Des mesures protectrices pouvant retenir un véhicule impliqué dans une collision sont requises.

- Des mesures de contrôle « administratives » peuvent être créées par des mesures organisationnelles ou opérationnelles comme des interdictions d'arrêt dans une certaine zone, mais ces mesures ne peuvent pas empêcher des véhicules potentiellement hostiles de s'approcher ou de se stationner à proximité. Toutefois, les voitures stationnées sont une menace reconnaissable et l'évacuation de la zone ou l'application d'autres contremesures de sécurité appropriées peut être entreprise.
- Du mobilier, des jardinières et des luminaires dans les espaces publics peuvent être utilisés en tant que **dispositifs de protection structuraux** pour les surfaces carrossables. Ces dispositifs forment des systèmes de protection qui préviennent ou empêchent la conduite de véhicules (obstacles pour les véhicules) à proximité d'un bâtiment ou d'une installation, mais ils ne peuvent généralement pas retenir un véhicule conduit à une vitesse excessive de manière délibérée.
- Des systèmes bâtis pour résister à l'impact des véhicules sont utilisés en tant que **systèmes de retenue de véhicules**. Leur conception est adaptée à la menace visée, qui, en retour, est basée sur la catégorie de véhicule type prévue (masse de véhicule) et la vitesse d'impact du véhicule. Les systèmes de retenue de véhicules types consistent en bornes, barrières et murs, qui peuvent être en béton préfabriqué ou coulé en place.

6.4. Détection périmétrique des intrusions

Pour maintenir la distance de sécurité, les zones [d'exclusion] et [de surveillance] doivent faire l'objet d'une surveillance électronique pour détecter les piétons ou les véhicules qui s'approchent de la façade du bâtiment. Des dispositifs électroniques de détection des intrusions doivent être placés à l'extérieur du périmètre du bâtiment pour détecter les intrusions potentielles dans le périmètre de sécurité et signaler ces effractions.

Dans les situations où le public a accès à un périmètre de sécurité, un programme de surveillance et d'intervention humaines doit compléter les éléments de sécurité matérielle. Les équipes de sécurité ministérielles doivent définir les exigences opérationnelles et la zone couverte en tenant compte des conditions opérationnelles et environnementales au moment de la mise en place de ce programme. Ces programmes peuvent utiliser des ressources humaines pour surveiller les périmètres de sécurité afin de détecter et d'interdire tout accès non autorisé à une façade de bâtiment.

Toutes les technologies de détection périmétrique des intrusions doivent être prises en compte, y compris les rayons infrarouges, les détecteurs de mouvements vidéos, les câbles coaxiaux à dispersion, les micro-ondes, la fibre optique, l'électrostatique, les fils tendus, les radars et toute

autre technologie viable. Les technologies périmétriques de détection des intrusions considérées doivent être utilisées en tandem avec la vidéosurveillance de sécurité.

Les infrastructures de contrôle d'accès et de surveillance des infrastructures de détection périmétrique des intrusions qui desservent les zones [d'exclusion] ou [de surveillance] doivent être physiquement séparés, pour assurer un contrôle de l'accès par zones ou par compartiment et la surveillance ponctuelle de l'alarme. Tout élément extérieur de détection périmétrique des intrusions et accessible au public doit être placé dans des conduits et des boîtes de jonction sécurisées, et être doté d'alarme anti-sabotage. Les conduits internes utilisés pour le système de détection périmétrique des intrusions qui traversent des zones publiques ou d'opérations doivent être inviolables et passer dans des boîtes de jonction verrouillables et sécurisées.

6.5. Vidéosurveillance périmétrique

Un système de vidéosurveillance périmétrique doit permettre l'intégration, l'enregistrement, l'affichage et la gestion de caméras vidéos destinées à surveiller les zones [d'exclusion] ou [de surveillance]. Pour atteindre les objectifs de surveillance, une combinaison de caméras fixées à des poteaux et à des murs, à fonction de pivotement horizontal, d'inclinaison verticale et de zoom (VPIZ), à mégapixels et à 360° peut être utilisée.

Les composants de vidéosurveillance de sécurité sont un des sous-systèmes les plus complexes de tout système de sécurité. Étant donné la complexité et l'importance des installations où sera déployé le système, il est fortement recommandé à l'équipe de conception d'inclure des experts très expérimentés qui ont une bonne connaissance des applications, du fonctionnement, des limites et des technologies de la surveillance vidéo de sécurité et de toute autre considération.

Le système de vidéosurveillance de sécurité utilisé pour surveiller le périmètre de sécurité doit viser ce qui suit :

- permettre l'identification et/ou la reconnaissance des personnes qui s'approchent de zones définies ou qui y entrent;
- fournir l'évaluation des événements et des activités déclenchant des alarmes;
- effectuer l'observation de zones ou d'aires durant des événements;
- faciliter la recherche, l'analyse et les investigations médico-légales grâce aux vidéos enregistrées et stockées dans le système de gestion des vidéos;
- servir de plateforme pour l'application future potentielle de logiciels d'automatisation et d'analyse.

Les caméras doivent être intégrées de manière discrète, mais non cachées, dans la conception de l'environnement, en fonction des stratégies de captage et des exigences d'enregistrement de chaque emplacement de caméra.

7. Éléments à considérer

La conception des mesures de protection contre le souffle d'explosion vise la protection des occupants du bâtiment et la réduction des décès. Une conception économiquement viable pour la protection antiterrorisme/de la force (AT/PF) nécessite une approche intégrée pour la sélection du site de l'installation, la programmation des opérations des espaces intérieurs, l'utilisation de mesures de sécurité actives et passives, technologiques comme humaines.

L'extérieur du bâtiment est sa première défense réelle contre les effets d'une bombe. La réaction de la façade à cette charge aura un effet considérable sur le comportement de la structure. La protection globale des occupants d'une structure nécessitera probablement la réduction de la hauteur et de la largeur des fenêtres, mais l'augmentation de leur épaisseur et des fixations plus importantes.

Étant donné l'étendue de la superficie entourant un bâtiment, même des niveaux de protection modestes seront dispendieux. Par conséquent, la philosophie de la conception gagnerait probablement à se concentrer sur l'amélioration du comportement de la façade après les dommages. Afin de protéger le plus possible les occupants, l'objectif doit être que le bâtiment et ses composants de bardage demeurent debout ou en place assez longtemps pour permettre l'évacuation de toutes les personnes et la protection des occupants contre les blessures ou la mort causées par les éclats de débris. [12]

7.1. Méthodes d'atténuation

Des exemples de méthodes d'atténuation des effets du souffle sont donnés ci-après : ces méthodes peuvent être utilisées pour limiter l'infiltration des pressions de souffle par les murs et les fenêtres. Ces méthodes doivent empêcher l'effondrement ou la défaillance localisée de murs, et limiter les blessures causées par les projections de débris durant une explosion :

- le renforcement des murs extérieurs et de certains murs intérieurs et des structures de toit à partir de l'intérieur par l'utilisation d'ossature d'acier et/ou l'application de polymères renforcés de fibres (PRF);
- le raccordement de composants de murs par des goupilles ou d'autres moyens de fixation mécanique;
- l'installation de verre feuilleté dans les nouveaux cadres de fenêtre et de fixations adéquates agencées aux mesures de protection contre les effets du souffle des murs adjacents et à la MdR;
- l'application de vitrage intérieur feuilleté dans les fenêtres patrimoniales à conserver;
- l'installation facultative de systèmes de « retenue » de fenêtre ou de mur pour augmenter l'atténuation des effets du souffle et capter les débris projetés dans des zones choisies [tirants d'ancrage, attaches antisismiques].

7.2. Construction neuve/construction existante

La rénovation complète d'un bâtiment permet l'installation de solutions de renforcement qui seraient autrement pratiquement impossibles dans des conditions d'opérations normales. Durant les grands travaux de rénovation, il est possible de renforcer les murs à peu de frais pour offrir une protection modeste contre les effets d'explosions de courte portée et une excellente

protection contre les explosions de longue portée. Les coûts des interventions effectuées pendant des rénovations sont de beaucoup inférieurs (de plusieurs ordres de grandeur) à ceux des interventions effectuées lorsque les locaux sont occupés.

Fait à noter, les mesures de renforcement contre les effets du souffle seront en place à long terme et elles établiront une performance fixe contre les effets du souffle jusqu'aux prochaines rénovations. Les techniques d'atténuation mises en place durant les rénovations doivent être assez robustes pour offrir une protection contre les menaces, qui peuvent évoluer, diminuer et augmenter dans le temps. La performance de la protection contre les effets du souffle sera fixe une fois les mesures d'atténuation en place. Au cas où les menaces augmenteraient au point de dépasser les limites de ces mesures, il faudrait alors adopter des stratégies de rechange, comme rationaliser les services pour n'offrir que les services essentiels ou relocaliser le personnel.

Dans une nouvelle construction, les options disponibles pour l'atténuation des effets du souffle sont plus nombreuses, car elles peuvent être intégrées à la structure et à l'enveloppe lors de l'élaboration de la conception. Dans les structures existantes, les options sont beaucoup plus limitées puisqu'elles doivent coexister avec au moins une partie de la structure. Les bâtiments patrimoniaux bâtis avec des techniques anciennes augmentent la complexité, ce qui limitera le nombre de mesures d'atténuation pouvant être mises en place. L'élaboration de solutions économiques de protection contre les effets du souffle nécessite des compétences spécialisées et de la créativité.

7.3. Structures temporaires

L'utilisation de structures temporaires ou semi-permanentes, comme des stands mobiles, des abris contre les intempéries, des tentes, des pergolas et des installations pare-soleil, doit être réduite au minimum pour réduire la quantité de débris projetés en cas d'explosion.

Lorsque de telles structures sont nécessaires, leur performance en cas d'explosion doit être prise en compte dans l'approche de conception globale – l'emplacement, la fixation et les détails de construction peuvent grandement modifier les impacts de ces structures sur l'installation et les occupants.

7.4. Murs extérieurs et structure

Tous les murs extérieurs et les composants structuraux connexes d'un bâtiment à risque doivent être conçus pour résister aux effets du souffle conformément à la MdR et au NdP. Les formes architecturales complexes et les surplombs qui causent de multiples réflexions de l'onde de souffle sont déconseillés.

Les éléments structuraux doivent être conçus de manière que la stabilité durant une explosion soit atteinte par le transfert des charges d'une région endommagée localement vers des régions adjacentes capables de résister à ces charges sans causer d'effondrement progressif en offrant une continuité, une redondance ou une capacité de dissipation de l'énergie suffisante (ductilité, amortissement, dureté, etc.), ou une combinaison de ces dernières, dans les membrures et les assemblages de la structure.

Les murs porteurs extérieurs de maçonnerie non renforcée doivent être renforcés pour résister aux charges d'explosion au besoin, et sécurisés par la pose de membranes, de goupilles, d'ossature additionnelle ou par d'autres moyens appropriés.

Les assemblages poutre-poteau doivent être améliorés de manière à limiter les dommages à l'assemblage et les conceptions de poteau doivent être améliorées pour que les poteaux résistent aux charges spécifiques aux explosions, en plus des charges structurales normales (voir la section 7.5).

Les bâtiments comportant des murs de remplissage en maçonnerie, un parement de brique ou des murs à ossature d'acier sont particulièrement fragiles aux charges dues au souffle. Bien que d'apparence robuste, les murs de maçonnerie sont normalement très friables, et ont tendance à se briser sous de faibles charges d'explosion. Il faut en tenir compte dans l'analyse des explosions. Les murs de remplissage en maçonnerie et les parements de brique peuvent causer des projections de débris supplémentaires en cas d'explosion, ce qui peut occasionner davantage de blessures aux occupants et de dommages aux biens. Les murs à ossature d'acier ne sont pas suffisamment rigides pour résister à des pressions latérales élevées. Les fixations des murs de maçonnerie, de brique ou à ossature d'acier à la structure doivent être examinées en détail et dans la plupart des cas, des améliorations seront nécessaires.

Les systèmes d'amélioration des murs utilisés de nos jours comprennent :

- enduits pulvérisés élastomères;
- pellicules de polymères renforcés de fibres (PRF);
- géotextiles;
- plaques d'acier;
- peaux de béton.

7.5. Poteaux

Les bâtiments à ossature conçus pour résister aux charges dues à la gravité, au vent et aux séismes de manière normale sont souvent incapables de résister aux charges d'explosion, en raison de la défaillance des assemblages poutre-poteau et de l'incapacité de la structure de tolérer les inversions de charge.

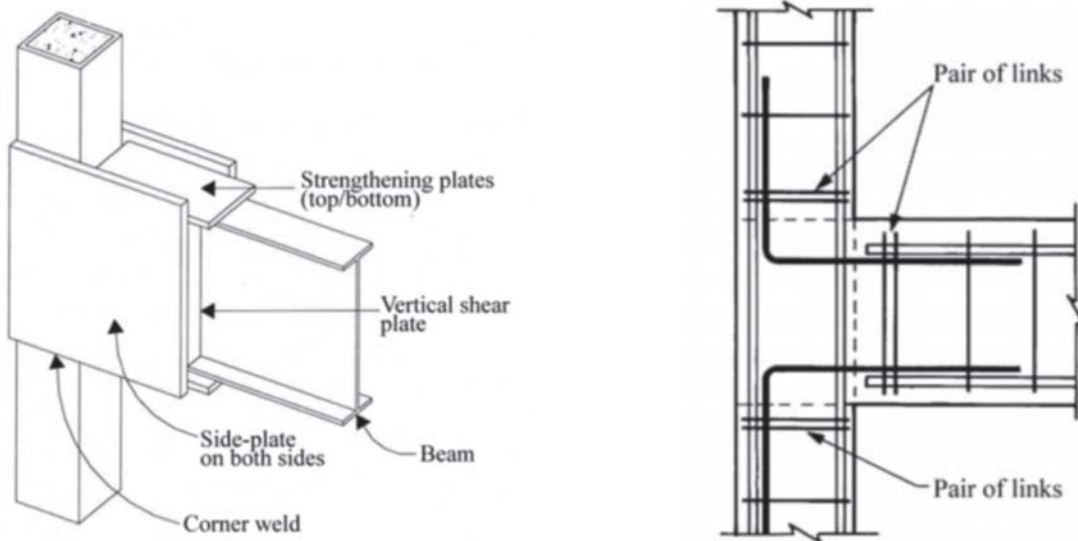


Figure 7-1, Détails d'assemblage poutre-poteau amélioré pour ossature d'acier [10] et de béton armé [11].

(Texte alternatif : La figure 7-1 illustre la construction poutre-poteau telle que définie au paragraphe 7.5 Poteaux. La figure de gauche illustre la construction poutre-poteau. Le poteau s'étend verticalement tandis que la poutre s'étend horizontalement. Cette construction se compose de plaques de renforcement inférieures et supérieures, verticales plaques de cisaillement, plaques latérales des deux côtés de la colonne et une soudure d'angle. La figure de droite détaille les connexions à la fois sur la colonne verticale et la poutre horizontale. Des paires de liens sont installées à l'intérieur de la colonne et de la poutre pour renforcer la connexion en béton au départ barres emplacement de la connexion.)

Strengthening plates (top/bottom)	Plaques de renfort (dessus/dessous)
Vertical shear plate	Plaque de cisaillement verticale
Side-plate on both sides	Plaque latérale des deux côtés
Beam	Poutre
Pair of links	Paire de liens

Les assemblages poutre-poteau peuvent être soumis à des forces très élevées suite à une explosion (Figure 4-3). Ces forces soulèveront un composant horizontal des murs d'un bâtiment et un composant vertical en raison de la différence de charges sur les surfaces supérieure et inférieure des planchers. Renforcer ces assemblages peut apporter une amélioration substantielle.

Il a été démontré que les assemblages poutre-poteau types prévus pour les charges statiques sont inadéquats pour les charges d'explosion. Pour ce qui est des assemblages poutre-poteau d'ossature d'acier, il est particulièrement essentiel de concevoir les ossatures de manière qu'elles puissent rester fonctionnelles après une explosion. La Figure 7-1 illustre des exemples de détails d'assemblages améliorés. Le principal élément à retenir dans l'assemblage pour béton armé est l'utilisation de liens supplémentaires par rapport à l'emplacement des barres en attente dans l'assemblage. Ces améliorations visent à réduire le risque d'effondrement ou de dommage à l'assemblage de la poutre.

Les poteaux sont aussi sujets à la défaillance s'ils sont exposés à des explosions à proximité. Dans des conditions de charge normales, les poteaux sont principalement soumis à des forces axiales, mais dans des conditions d'explosions, ils peuvent être sujets à la flexion. Une charge relativement petite imposée sur un poteau, ou à proximité d'un poteau, pourrait causer la défaillance du poteau et l'effondrement possible de la structure supportée. Il existe des méthodes de mise à niveau, dont les polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC) et les systèmes de gainage d'acier, qui peuvent être utilisés pour aider à atténuer les dommages des poteaux pouvant être exposés à des explosions.

7.6. Fenêtres

Les vitrages, qui constituent souvent le matériau le plus vulnérable en cas d'explosion d'une bombe, doivent résister à deux effets d'une explosion pour offrir une protection. Le premier effet est l'onde de choc ou de souffle, qui voyage dans toutes les directions à partir de la charge explosive lorsque celle-ci explose. Le deuxième effet est la fragmentation produite par les munitions ou les matériaux projetés dans les environs par l'explosif.

Les vitrages ordinaires peuvent contribuer au potentiel de destruction d'une explosion, car le résultat destructeur d'une explosion de bombe est amplifié lorsqu'elle projette des fragments, comme de la vitre. Les bris de fenêtres non protégées sont responsables de la plupart des blessures lors d'explosions. Par exemple, 66 % des blessures subies lors de l'attentat à la bombe d'Oklahoma City étaient attribuables à des éclats de vitre. Les vitrages destinés à offrir une sécurité accrue en cas d'explosion doivent être retenus dans le cadre de fenêtre, sur la base de la MdR et du NdP prévus.

La conception du cadre de fenêtre – et des méthodes utilisées pour le fixer au mur – est importante pour déterminer l'efficacité de la protection offerte par le système fenêtre/cadre. De plus, le système de fenêtre transférera toutes les charges d'explosion au mur; la construction du mur et de la structure doit donc être également prise en compte et être assez robuste pour supporter toutes les charges prévues.

Il vaut mieux effectuer les essais de résistance du vitrage à l'explosion de bombes avec le cadre et le mur qui seront utilisés avec le vitrage. Fait à noter, les essais avec cadre ouvert ne sont pas les plus précis, car dans ces essais le cadre n'est pas inséré dans une structure et il ne simule pas l'environnement avec exactitude. [14]

Le protocole d'essai de l'ASTM « Standard Test Method for Glazing and Glazing Systems Subject to Air blast Loadings », ASTM F 1642 (21), est une procédure d'essai couramment utilisée dans le marché nord-américain. On peut utiliser d'autres méthodes d'essai jugées équivalentes par un ingénieur en explosifs.

Verre recuit – parfois appelé verre flotté. Verre tendre de faible coût qui a été soumis à un traitement thermique puis lentement refroidi pour éliminer toutes les contraintes internes. Le verre recuit a tendance à se briser en tessons longs et dentelés, qui peuvent causer des blessures importantes. Il est généralement utilisé lorsque la résistance et la sécurité ne sont pas importantes.

Verre armé – verre recuit dans lequel un treillis en fil de fer a été noyé. Son utilisation vise à satisfaire les exigences des codes du bâtiment relatif à la protection incendie. La résistance à l'impact et les formes de bris du verre armé sont semblables à celles du verre recuit. Le verre armé est conçu pour rester en place durant un incendie, même après avoir été exposé à la chaleur du feu puis avoir été arrosé par une lance d'incendie (choc thermique). Le verre armé n'est pas une solution efficace pour l'atténuation des effets du souffle.

Verre trempé – aussi appelé verre durci, le verre trempé est produit en chauffant du verre recuit jusqu'à son point de ramollissement, puis en le refroidissant rapidement. Ce procédé modifie les contraintes dans le verre, et laisse la surface en état de compression tandis que le cœur reste en état de tension. Résultat : le verre trempé est beaucoup plus difficile à briser, et il est d'environ trois à cinq fois plus résistant que le verre recuit. Lorsque le verre trempé se brise, la feuille de verre se désintègre en morceaux ressemblant à des petits cubes, qui sont moins dangereux que les tessons pointus produits par le verre recuit.

Verre chimiquement renforcé – type de verre ayant subi un traitement chimique postproduction qui augmente sa résistance. Lorsqu'il se brise, il se fragmente en longs éclats pointus, de manière semblable au verre recuit. Pour cette raison, il ne peut pas être pris en compte pour l'atténuation des effets du souffle. Toutefois, le verre chimiquement renforcé est normalement de six à huit fois plus résistant que le verre flotté.

Verre renforcé à la chaleur – verre d'environ deux fois plus résistant que le verre recuit, créé par un procédé similaire à celui du verre trempé, sauf que le procédé de refroidissement n'est pas aussi rapide. Il n'est pas approprié pour l'atténuation des effets du souffle, mais lorsqu'une résistance accrue aux charges thermiques élevées et aux surcharges de vent est requise, le verre renforcé à la chaleur offre une résistance accrue aux impacts. Le verre renforcé à la chaleur n'est pas à risque de bris spontané (un risque inhérent au verre trempé). Si ce verre venait à briser, les fragments seront plus gros et auront moins de risque de tomber du cadre de fenêtre.

Verre feuilleté – fabriqué en intercalant une mince couche (souvent aussi mince que 0,015 pouce) de résine de poly(butyril de vinyle) (PVB) ou d'un agent de liaison semblable entre deux couches de verre ou plus. Le verre et le plastique sont liés ensemble avec de la chaleur et de la pression. La résistance du verre feuilleté est essentiellement la même que celle du verre non feuilleté. Par contre, lorsque le verre feuilleté est brisé, la feuille de plastique maintient les fragments de verre en place. Le verre utilisé pour fabriquer le verre feuilleté peut être du verre recuit ou trempé, et il peut aussi être teint ou traité avec des enduits. Le verre feuilleté peut être utilisé en combinaison avec un autre type de verre dans les blocs-fenêtres à vitrage isolant. Il est souvent utilisé pour atténuer les effets du souffle.

Vitrages en acrylique et en polycarbonate – vitrages en plastique à base d'acrylique ou de polycarbonate. Ces deux matériaux comportent des avantages et des inconvénients. La limpidité est supérieure avec un intercalaire en acrylique par rapport à un intercalaire en polycarbonate. La résistance à l'impact de l'acrylique surpasse d'environ 17 fois celle du verre, tandis que celle du polycarbonate est d'environ 300 fois plus élevée que la résistance du verre. Les vitrages en

acrylique comme en polycarbonate sont tous deux d'environ 50 % plus légers que le verre d'égale épaisseur. Les polycarbonates sont tout indiqués pour l'atténuation des effets du souffle d'explosion.

Bien que les matériaux en acrylique et en polycarbonate possèdent d'excellentes propriétés de résistance aux impacts, ils partagent plusieurs inconvénients. Ces deux matériaux sont sujets aux égratignures et se déforment sous la chaleur. Des revêtements résistants au marquage sont disponibles, mais le vitrage sera quand même facilement marqué s'il est égratigné avec un canif ou une pierre. L'acrylique brûle d'une manière intense tandis que le polycarbonate brûle à un moindre degré. Les restrictions des codes locaux peuvent en limiter l'utilisation.

Polycarbonate revêtu de verre – matériau résistant et transparent. Il est particulièrement résistant à la pénétration de projectiles, mais comme les autres matériaux, il n'est pas impénétrable. Il est habituellement composé d'un type de verre ou plus, un verre dur et un verre tendre. La couche plus tendre rend le verre plus élastique, ce qui lui permet de fléchir au lieu de se fragmenter, et elle est souvent réalisée avec des couches de verre feuilleté. Plus il y a de couches, plus la protection est élevée. Lorsque le poids doit être réduit, 3 mm de polycarbonate (un thermoplastique) est laminé du côté sécuritaire pour stopper les éclats. L'objectif est de fabriquer un matériau ayant l'apparence et la clarté du verre ordinaire, mais qui offre une protection efficace contre les armes légères.⁵ Les polycarbonates revêtus de verre sont tout indiqués pour l'atténuation des effets du souffle.

Pellicule anti-éclats (PAE) – l'application d'une pellicule anti-éclats permet de réduire les effets dommageables des projections de verre non feuilleté lors d'une explosion. Ces pellicules sont composées de films de polymère ou de polyester ayant une résistance à la traction et une capacité de déformation élevées. Lorsqu'elles sont collées au verre, elles retiennent les éclats de verre et aident à limiter les blessures causées par les éclats de verre. Les pellicules anti-éclats peuvent être utilisées pour accroître la performance des fenêtres pour ce qui est de la transmittance, de la réflexion ou de l'absorption solaire totales. Elles peuvent également offrir une protection contre les rayons UV et les menaces d'émission de signaux compromettants (EMSEC).

Pellicule anti-éclats - pose sur surface apparente – la pellicule est appliquée directement sur la partie visible du vitrage de fenêtre, et il n'est pas nécessaire d'enlever la fenêtre de son cadre. La pellicule est typiquement découpée à 1,6 mm de la bordure de fenêtre. L'objectif principal est de maintenir les fragments de verre ensemble lorsqu'il y a un bris. Le résultat est que lorsque la fenêtre se brise, elle se brise comme une grande feuille fissurée plutôt qu'en séries de petits éclats. Même si ce produit réduit le risque d'être heurté par une masse de fragments isolés, il augmente la probabilité de traumatisme contondant important lorsque la pellicule est posée sur du verre feuilleté. Il faut donc choisir avec soin la pellicule utilisée pour atténuer les effets du souffle. [15]

⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Bulletproof_glass

Pellicule anti-éclats –application bord à bord – la pellicule est appliquée sur le vitrage une fois « la butée » de fenêtre enlevée ; la pellicule est posée d'un bord à l'autre de la vitre. Une fois que la butée de fenêtre est réinstallée, celle-ci retiendra la fenêtre et la pellicule dans le cadre.

Pellicule anti-éclats - pose en feuillure ouverte – méthode semblable à celle de la pose sur surface apparente ; un cordon de silicone structural est appliqué sur la périphérie de la zone de pose sur surface apparente pour assurer l'adhérence de la pellicule à la butée et au cadre de fenêtre. Cela permet de réduire la probabilité d'une séparation de toute la fenêtre et des traumatismes contondants. Il faut souligner que la butée et le cadre de fenêtre recevront la charge d'explosion et qu'ils doivent être assez robustes pour recevoir ces charges. Lorsque la butée est enlevée, la pose sur feuillure ouverte peut aussi être appliquée de bord en bord pour une résistance accrue au souffle.

Pellicule anti-éclats - fixation mécanique – méthode d'installation de pellicule anti-éclats privilégiée sur une fenêtre pour lui donner une plus grande résistance aux effets du souffle et réduire le risque de traumatisme contondant. La fixation mécanique est la méthode d'application de pellicule anti-éclats la moins économique et la plus longue. La pellicule est découpée de manière qu'une petite quantité de pellicule se prolonge sur le cadre et fixée en place avec des tasseaux ou des bandes placées sur sa bordure pour la fixer au cadre.

La fixation mécanique de pellicule anti-éclats peut être appliquée le long de la bordure supérieure pour permettre à la vitre de pivoter ou de basculer vers l'intérieur, en direction opposée au cadre, pour permettre l'infiltration d'une certaine quantité de pression de souffle tout en limitant la probabilité d'une séparation de toute la fenêtre. La fixation mécanique sur deux ou quatre côtés offre le plus de protection, toutefois, peu importe la méthode, il faut veiller à ce que les charges transférées au cadre et au mur par le vitrage puissent être supportées.

7.7. Portes

Même si elles ne sont pas aussi vulnérables que les fenêtres, les portes commerciales non protégées sont susceptibles à la défaillance si elles sont soumises à des charges d'explosion modestes, ce qui mène à l'infiltration de pression de souffle, de débris et possiblement à des blessures. Les portes conçues pour résister aux charges d'explosion peuvent être extrêmement dispendieuses, complexes et lourdes, et nécessitent des charnières et des dispositifs d'ouverture/de fermeture spécialisés. La plupart des portes blindées sont fabriquées sur mesure pour chaque application et nécessitent un niveau d'entretien beaucoup plus élevé que les portes commerciales.

D'ordinaire, la plupart des portes blindées dépassent la force de traction maximale requise pour respecter les exigences du *Code national du bâtiment*. Par conséquent, ces portes ne peuvent normalement pas être ouvertes manuellement. Des dispositifs d'ouverture et de fermeture électriques sont généralement requis, ce qui ralentit l'ouverture et la fermeture de la porte. Ces grosses portes peuvent aussi avoir des répercussions sur les opérations de sécurité et créer des difficultés pour les utilisateurs.

Étant donné la complexité opérationnelle, le coût d'installation et le soutien continu accrus pour ces portes, l'ajout de portes blindées aux exigences de protection contre les effets du souffle ne doit pas se faire à la légère. Il faut tenir compte du niveau de protection (NdP) requis. En d'autres termes, les portes blindées ne devraient être exigées et installées que dans les situations où une EMR et la MdR/le NdP déterminés par cette EMR le justifient amplement.

Les portes blindées doivent être conçues pour fonctionner après une explosion et elles ne doivent pas entraver l'évacuation. Tout comme pour les fenêtres résistantes aux effets du souffle, les portes blindées, les cadres, la quincaillerie et les fixations au mur doivent être conçues comme un tout. La coordination entre les fournisseurs de portes, les concepteurs, les experts en sécurité et l'équipe de conception du projet est essentielle pour une installation sans accroc.

Types de portes blindées

Portes métalliques creuses blindées – construites en apposant des plaques d'acier résistantes aux effets du souffle par soudage par points sur des sections d'acier creux. La feuille d'acier doit avoir une épaisseur de < 4,5 mm pour recevoir les soudures. Les sections d'acier creux peuvent être faites en acier creux, typiquement de 51x51. Ce type de porte n'est pas très efficace contre l'impact de fragments.

Portes blindées en acier de construction – ces portes sont moins coûteuses, car le coût de fabrication est moins élevé. Une porte en acier de construction d'un rapport de proportion de >2 est efficace pour réduire les fléchissements. Des plaques d'acier d'une épaisseur de > 200 mm sont disponibles sur le marché. Les dimensions des portes sont limitées par le poids de l'acier.

Portes blindées en acier de construction composé – construites en soudant des plaques d'acier résistantes aux effets du souffle sur des profilés d'acier (profilés en H, raidisseurs en Z ou profilés en S). Les profilés en S sont privilégiés en raison de leurs membrures étroites. Normalement utilisées lorsque les portées ne permettent pas l'utilisation de plaques d'acier de construction. La quantité de soudage requis peut faire augmenter considérablement les coûts de fabrication. Le soudage peut causer le gauchissement des membrures. De plus, comme les soudures sont dissimulées, l'inspection des soudures pourrait être requise.

Portes blindées en béton armé – consistent en un panneau de béton doublement armé coulé dans un cadre en profilés d'acier de construction. Les barres d'armature en acier sont souvent soudées au cadre d'acier de construction. Une plaque d'acier anti-éclats est posée sur le côté intérieur pour prévenir les blessures causées par le bris du béton. Ces portes blindées sont moins coûteuses à fabriquer et à installer, mais elles peuvent être très lourdes et difficiles à ouvrir/fermer ou à bouger.

Éléments à considérer relativement à la quincaillerie

- **Cadre de porte** – fixé dans la structure ; habituellement, un prédormant est moulé dans le béton.
- **Charnières** – utiliser des charnières à roulement à billes ou à roulement sans billes. Les charnières à roulement à billes sont plus faciles à manoeuvrer, mais plus sujettes aux dommages.
- **Verrouillage** – multiples points de verrouillage requis. Ouverts et fermés par une ou de multiples poignées en bec de cane ou poignées rondes.

7.8. Points d'entrée et aires d'accueil

Les points d'entrée et les aires d'accueil représentent un problème particulier, car ce sont les zones où le public entre en contact avec le bâtiment protégé. Sans un contrôle préalable des visiteurs, les aires d'accueil sont particulièrement vulnérables aux attaques à l'explosif. Les aires d'accueil peuvent être perçues comme un point d'entrée par un attaquant, et dans le cas où l'attaque est interrompue, d'autres cibles potentielles sont offertes à l'attaquant, comme les visiteurs contrôlés dans l'aire d'accueil.

Lorsqu'une explosion se produit dans une zone d'accueil, les pressions associées au front de choc initial seront extrêmes et amplifiées par leur réflexion à l'intérieur de l'espace. Ce type d'explosion se nomme une explosion contenue. De plus, en fonction du degré de confinement, les effets des températures élevées et l'accumulation de produits gazeux produits par la réaction chimique de l'explosion causeront des pressions additionnelles et augmenteront la durée de la charge dans la structure.

Étant donné la vulnérabilité des zones d'accueil, une « ligne dure » devrait être établie entre les zones d'accueil et les zones contrôlées pour limiter efficacement les effets des surpressions et les projections de débris sur les occupants des zones contrôlées. La ligne dure doit être composée de murs, de planchers et d'un plafond qui entourent les zones d'accueil (sauf les systèmes de ventilation) et qui doivent être conçus et construits avec des matériaux sélectionnés pour résister aux charges nominales causées par les menaces définies dans l'EMR. Les visiteurs sans laissez-passer doivent passer par des portiques contrôlés par le personnel de sécurité pour traverser la « ligne dure ».

Les zones d'accueil et les processus doivent être situés le long des murs extérieurs ou des plafonds pour permettre l'évacuation des surpressions causées par les explosions. Lorsque des systèmes frangibles sont utilisés pour l'évacuation du souffle, il faut tenir compte du personnel et des visiteurs dans les zones près des événements pour limiter les blessures et les dommages en cas d'explosion.

Pour limiter la projection de débris et la fragmentation, il faut réduire au minimum, le plus possible, les plafonds suspendus et autres éléments architecturaux non solidement fixés dans les zones d'accueil. De plus, tout l'équipement mécanique et électrique, y compris, sans toutefois s'y limiter, les gaines et les luminaires suspendus, dans les zones d'accueil doivent être solidement fixés et retenus de manière solide pour limiter la projection de débris.

Il faut tout faire pour contenir les dommages en élaborant des stratégies de conception qui permettent qu'une défaillance ait le minimum d'impact, pour les cas où des dommages et la défaillance d'un système suite à une explosion dépasseraient les charges anticipées. Les zones d'un bâtiment qui se trouvent sur ou sous les aires d'accueil doivent être protégées contre la surpression, la projection de débris et la défaillance structurale causées par une explosion dans les aires d'accueil.

Il faut éviter les poteaux exposés dans les aires d'accueil qui, s'ils étaient la cible d'explosif, causeraient un effondrement de structure, ou bien il faut les protéger d'une manière quelconque pour qu'ils puissent résister aux charges nominales causées par des menaces d'explosion attendues.

7.9. Voies d'évacuation

Il faut tout faire pour contenir les dommages en élaborant des stratégies de conception qui permettent qu'une défaillance ait le minimum d'impact, pour les cas où les dommages causés par une explosion dépasseraient les charges nominales. La conception doit offrir, au minimum, des options d'évacuation de rechange si les voies d'évacuation sont impraticables suite à une explosion. Les voies d'évacuation doivent être conçues de manière à limiter les débris et à éviter que des portes soient bloquées pour assurer un passage relativement dégagé après une explosion. Selon l'aménagement architectural, des voies d'évacuation protégées et de rechange peuvent aussi être nécessaires pour garantir l'évacuation des zones touchées.

8. Contenu complémentaire

8.1. Références

1. CANMET, Braimah et Contestabile, « Blast Vulnerability Assessment: Challenges and Myths », CERL Report 2007-16
2. CSA, S850-F12, Calcul et évaluation des bâtiments soumis à des charges d'explosion, avril 2012
3. CANMET, Braimah et coll., « A Summary of Blast Mitigation Strategies for the Protection of Buildings », 2005-10
4. USAF, « Force Protection Battle Lab Vehicle Bomb Mitigation Guide », 2002
5. SPIEZ LABS, Schuler, Burkel et coll., « Mitigation of Terrorist Attacks with Vehicle Borne Improvised Explosive Devices Manual », n° de rapport: LS2009-05, 2009
6. Université technique d'Istanbul, Koccaz, Sutcu et Torunbalci, « Architectural and Structural Design For Blast Resistant Buildings », 2008
7. ABS Consulting, Barker – « The Case for Impulse - Analysis of Conventional Structures Subjected to Blast Loads », 2010
8. Mays G.C., Smith P.D. (1995). « Blast Effects on Buildings », Thomas Telford Publications, Heron Quay, Londres.
9. Punch S. (1999), « Blast Design of Steel Structures to Prevent Progressive Collapse », Structural Engineers Association Convention Proceedings, Santa Barbara, Californie, É.-U.
10. Hill J.A., Courtney M.A. (1995). « The structural Engineer's Response to Explosion Damage. The Institution of Structural Engineer's Report », SETO Ltd, Londres.
11. Designers Notebook Blast Considerations, partie 1
12. FEMA 426, Explosive Blast, chapitre 4
13. CANMET, Contestabile et von Rosen, « A Guide to Using Protective Film for Security Upgrades of Glass Windows » (VERSION PRÉLIMINAIRE), 2003-15
14. Karagozian et Case, « To Film or not to Film, Effects of Anti-shatter Film on Blunt Trauma Lethality from Tempered glass », 2002

Promulgation

Révisé et recommandé pour approbation

J'ai révisé le document GSMGC-002 (2021) - Guide d'atténuation des effets du souffle d'explosion, et par la présente, je recommande son approbation.

Shawn Nattress

2021-06-30

Shawn Nattress,
Gestionnaire
Principal organisme responsable de la sécurité de la GRC

Date

Approbation

Par la présente, j'approuve le document GSMGC-002 (2021) - Guide d'atténuation des effets du souffle d'explosion.

André St-Pierre

2021-06-30

André St-Pierre,
Directeur, Sécurité matérielle
GRC

Date