

DÉVELOPPEMENT D'UN OUTIL D'ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ D'UN CHAMP DE TIR
D'ARMES LÉGÈRES À L'INTENTION DES FORCES CANADIENNES

Par
Robert Lajoie

Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement
en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de Madame Julie Grégoire

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Septembre 2013

SOMMAIRE

Mots clefs : Forces canadiennes, champ de tir d'armes légères, durabilité, outil de prise de décision, auto-évaluation, évaluation de la durabilité.

Les Forces canadiennes font partie de la société canadienne depuis 1868. Leurs rôles consistent à assurer la sécurité des Canadiens et à répondre aux attentes du gouvernement du Canada. Pour remplir leurs mandats, les Forces canadiennes doivent entraîner annuellement plus 100 000 militaires. L'entraînement des soldats requiert qu'ils s'exercent aux manœuvres des armes légères et aux tirs réels. Ainsi, chaque année les militaires tirent plus de 25 millions de projectiles dans les champs de tir d'armes légères au Canada. Les projectiles tirés introduisent dans l'environnement plusieurs contaminants, dont des agents propulsifs et des métaux. Depuis plus de 12 ans, les Forces canadiennes ont développé des mesures d'atténuation pour diminuer les impacts négatifs et pour maintenir la durabilité des champs de tir d'armes légères. Cependant, en ce moment, les Forces canadiennes n'ont pas d'outil pouvant établir si un champ de tir est durable ou non.

Cet essai développe pour les Forces canadiennes un outil capable de mesurer la durabilité, d'identifier des pistes d'amélioration et pouvant servir d'aide à la prise de décision dans le contexte de gestion d'un champ de tir d'armes légères. Les assises de l'outil sont établies sur une analyse détaillée des contaminants et des récepteurs. L'analyse a permis de cerner tous les contaminants introduits dans l'environnement lors de la pratique du tir d'armes légères. Ainsi, dans les champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes, les contaminants retrouvés sont la nitroglycérine (NG), le 2,4 dinitrotoluène (DNT), le plomb (Pb), l'antimoine (Sb), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). L'analyse des risques a identifié que le Pb et le Cu constituent un risque élevé pour l'habitat du poisson, le public et la faune. À l'aide de ces résultats, une liste de 20 indicateurs fut développée pour mesurer la durabilité des champs de tir d'armes légères.

L'outil présenté sous forme de fichier Excel[®] évalue, à l'aide d'indicateurs, le niveau de durabilité d'un champ de tir d'armes légères. L'outil a été mis à l'épreuve lors de l'évaluation de la durabilité de deux (2) champs de tir utilisés par les Forces canadiennes. Les résultats de l'évaluation de la durabilité ont permis d'établir que l'outil est rapide, efficace, facile d'utilisation et surtout capable de mesurer la durabilité d'un champ de tir d'armes légères. Cet outil facilitera la gestion des champs de tir des Forces canadiennes en permettant aux responsables de la gestion de l'environnement de mesurer rapidement la durabilité et de prendre des décisions éclairées en ce qui a trait aux mesures requises pour assurer un niveau de durabilité élevé. Pour terminer, l'auteur de cet essai recommande aux Forces canadiennes de mesurer annuellement la durabilité, d'effectuer un suivi périodique des champs de tir d'armes légères et de mettre en place les mesures d'atténuation nécessaires pour maintenir la durabilité, et ce, même si le niveau de durabilité est élevé.

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier ma directrice d'essai, Julie Grégoire, pour ses conseils éclairés, sa patience, ses commentaires justes, ses encouragements et sa grande accessibilité.

Je veux également remercier mes collègues de cohorte, Danny Roy, Philippe Giguère, Pierre-Luc Pilon et Mustapha Souissi, qui furent des équipiers sans pareils lors de nos nombreux travaux d'équipes et ce tout au long du parcours de la maîtrise.

Mes remerciements vont également à Michel et Suzanne Cloutier qui ont passé de nombreuses heures à l'amélioration de la syntaxe et à la correction des fautes d'orthographe.

J'aimerais remercier mes deux (2) filles Cynthia et Chrystel, mes gendres, Benoit et Karl et mes trois (3) petites filles, Maxyne, Alexane et Marika pour leur compréhension envers mon manque de disponibilité spécialement durant cette dernière année.

En dernier lieu, j'aimerais remercier chaleureusement mon épouse, Josée, qui a su démontrer une compréhension et une patience exemplaire tout au long de ma maîtrise.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1 Les Forces canadiennes	3
1.1.1 La préparation d'un soldat au combat.....	5
1.1.2 Le champ de tir d'armes légères	6
1.2 La gouvernance.....	9
1.2.1 Gouvernance nationale.....	9
1.2.2 Gouvernance régionale.....	10
1.2.3 Gouvernance locale	10
1.3 La gestion de l'environnement	10
1.4 Le cadre réglementaire.....	11
1.4.1 Les lois fédérales sur l'environnement.....	11
1.4.2 La <i>Loi canadienne sur la protection de l'environnement</i> (LCPE)	11
1.4.3 La <i>Loi fédérale sur le développement durable</i> (LFDD)	12
1.4.4 La <i>Loi canadienne sur l'évaluation environnementale</i> (LCEE).....	13
1.4.5 La <i>Loi sur les espèces en péril</i>	13
1.4.6 La <i>Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs</i> (LCOM).....	14
1.4.7 La <i>Loi sur les pêches</i>	14
1.4.8 Le cadre réglementaire provincial.....	15
1.5 Les directives	15
1.5.1 DOAD 4003-0, protection et gérance de l'environnement	15
1.5.2 DOAD 4003-2, évaluation environnementale.....	16
1.6 Le développement durable.....	16
1.6.1 La stratégie de développement durable des Forces canadiennes	16
1.6.2 La définition de durabilité des Forces canadiennes.....	17
2. L'ANALYSE.....	19
2.1 L'identification des problèmes environnementaux des champs de tir d'armes légères	19
2.1.1 La butte de tir.....	21
2.1.2 La butte d'arrêt.....	21
2.2 Les récepteurs humains et environnementaux	22
2.3 Les contaminants	26
2.3.1 La méthodologie pour l'analyse des risques	27
2.3.2 Les caractéristiques de la nitroglycérine	30

2.3.3	L'analyse des risques de la nitroglycérine.....	33
2.3.4	Les caractéristiques du 2,4 DNT	37
2.3.5	L'analyse des risques du 2,4 DNT	38
2.3.6	Les caractéristiques du plomb	41
2.3.7	L'analyse des risques du plomb	43
2.3.8	Les caractéristiques de l'antimoine.....	48
2.3.9	L'analyse des risques de l'antimoine	50
2.3.10	Les caractéristiques du cuivre	54
2.3.11	L'analyse des risques du cuivre.....	55
2.3.12	Les caractéristiques du zinc	58
2.3.13	L'analyse des risques du zinc.....	59
2.4	Les résultats consolidés de l'analyse des risques.....	62
3.	GRILLE D'ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ	64
3.1	Les objectifs et les caractéristiques de l'utilisateur de l'outil	64
3.2	Les indicateurs de mesure de durabilité	65
3.3	Structure et cadre d'utilisation	66
3.3.1	Description du pointage.....	70
3.3.2	Coefficient de pondération.....	71
3.3.3	Interprétation du résultat	72
3.4	Les limites de l'outil.....	73
4.	TEST DE L'OUTIL DE MESURE DE LA DURABILITÉ	75
4.1	Test de l'outil	75
4.2	Évaluation de l'objectif et des caractéristiques de l'outil.....	78
5.	RECOMMANDATIONS.....	80
	CONCLUSION.....	81
	ANNEXE 1 – EXPLICATIONS ET DÉTAILS RELATIFS AU QUESTIONNAIRE DE MESURE DE LA DURABILITÉ DES CHAMPS DE TIR D'ARMES LÉGÈRES	92
	ANNEXE 2 – TEST DE L'OUTIL, CHAMP DE TIR MYRIAM BÉDARD, BASE DES FORCES CANADIENNES DE VALCARTIER.	103
	ANNEXE 3 – TEST DE L'OUTIL, CHAMP DE TIR ALPHA, BASE DES FORCES CANADIENNES DE MEAFORD.....	108

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Bases des Forces canadiennes au Canada	4
Figure 1.2	Aménagement traditionnel d'un champ de tir d'armes légères	7
Figure 1.3	Butte de tir	8
Figure 1.4	Tireur du 1 ^{er} Bataillon du Nova Scotia Highlander (North).....	8
Figure 1.5	Buttes d'arrêt	9
Figure 2.1	Projectile d'arme légère 5,56 mm.....	20
Figure 2.2	Les zones potentiellement contaminées.....	21
Figure 2.3	Modèle conceptuel des voies potentielles d'exposition	23
Figure 2.4	Voies d'exposition entre les récepteurs et les contaminants	26
Figure 2.5	Concept de caractérisation des risques.....	27
Figure 2.6	Matrice des risques.....	29
Figure 2.7	Positions de tir du champ de tir Myriam Bédard.....	33
Figure 2.8	Matrice des risques pour la nitroglycérine	36
Figure 2.9	Matrice des risques pour le 2,4 DNT	40
Figure 2.10	Champs de tir d'armes légères de Connaught, Ottawa.....	45
Figure 2.11	Distance entre un des champs de tir d'armes légères de la base des Forces canadiennes de Farnham et une résidence privée	46
Figure 2.12	Matrice des risques pour le plomb.....	48
Figure 2.13	Un instructeur et des soldats canadiens en position de tir.....	51
Figure 2.14	Matrice des risques pour l'antimoine	53
Figure 2.15	Matrice des risques pour le cuivre.....	58
Figure 2.16	Matrice des risques pour le zinc.....	62
Figure 3.1	Partie 1, les indicateurs généraux de durabilité	67
Figure 3.2	Partie 2, les indicateurs pour le plomb.....	68
Figure 3.3	Partie 3, les indicateurs pour le cuivre.....	69
Figure 3.4	Partie 4, les indicateurs spécifiques de durabilité	69
Figure 3.5	Partie 5, résultats finaux du questionnaire de la durabilité	71
Figure 4.1	Résultats finaux de la durabilité pour le champ de tir Myriam Bédard	76
Figure 4.2	Résultats finaux de la durabilité pour le champ de tir Alpha	77
Tableau 1.1	Armes légères des Forces canadiennes.....	6
Tableau 2.1	Niveaux de sévérité de toxicité des contaminants.....	28
Tableau 2.2	Critères d'évaluation de probabilité d'exposition	29
Tableau 2.3	Quantité de nitroglycérine contenue dans les projectiles.....	31
Tableau 2.4	Concentrations maximales de nitroglycérine observées dans les champs de tir	32

Tableau 2.5	Concentration de nitroglycérine, <i>Range 8</i> , Base des Forces canadiennes de Wainwright	35
Tableau 2.6	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour la nitroglycérine.....	36
Tableau 2.7	Concentrations maximales de 2,4 DNT observées dans les champs de tir.....	37
Tableau 2.8	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le 2,4 DNT	40
Tableau 2.9	Recommandations du CCME concernant le plomb.....	42
Tableau 2.10	Concentrations maximales de plomb observées dans les champs de tir	42
Tableau 2.11	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le plomb.....	47
Tableau 2.12	Recommandations du CCME concernant l'antimoine	49
Tableau 2.13	Concentrations maximales d'antimoine observées dans les champs de tir.....	49
Tableau 2.14	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour l'antimoine	53
Tableau 2.15	Recommandations du CCME concernant le cuivre	54
Tableau 2.16	Concentrations maximales de cuivre observées dans les champs de tir	55
Tableau 2.17	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le cuivre	57
Tableau 2.18	Recommandations du CCME concernant le zinc	59
Tableau 2.19	Concentrations maximales de zinc observées dans les champs de tir	59
Tableau 2.20	Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le zinc	62
Tableau 2.21	Consolidation des niveaux de risque pour chaque contaminant provenant des matrices de risques	63
Tableau 3.1	Coefficients de pondération.....	72

LISTE DES ACRONYMES

AFCEE	<i>Air Force Center for Environmental Excellence</i>
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>
CCME	Conseil canadien des ministres en environnement
CFRIS	<i>Canadian Forces Range Information System</i>
CNRC	Conseil national de recherches Canada
DL	Dose létale
DMEIO	Dose minimale orale ayant un effet indésirable observé
DNT	Dinitrotoluène
DOAD	Directive et ordonnance administrative de la Défense
FC	Forces canadiennes
ICSC	<i>International Chemical Safety Cards</i>
INRP	Inventaire national des rejets de polluants
INRS	Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
ITRC	<i>Interstate Technology Regulatory Council</i>
LCEE	<i>Loi canadienne sur l'évaluation environnementale</i>
LCOM	<i>Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs</i>
LCPE	<i>Loi canadienne sur la protection de l'environnement</i>
LFDD	<i>Loi fédérale sur le développement durable</i>
MDDEFP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs
MDN	Ministère de la Défense nationale
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NORAD	Commandement de la défense aérospatiale de l'Amérique du Nord
NSSF	<i>National Shooting Sports Foundation</i>
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
Pb	Plomb

RDDC	Recherche et développement pour la défense Canada
SDIFT	Système de la doctrine et de l'instruction de la Force terrestre
SGE	Système de gestion de l'environnement
SMA(IE)	Sous-ministre adjoint (infrastructure et environnement)
USACHPPM	<i>United States Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine</i>
US EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

LEXIQUE

Armes légères	Armes légères signifie toute arme meurtrière portative qui tire ou projette, ou qui est conçue pour tirer ou projeter, ou qui peut être facilement transformée pour tirer ou projeter un coup de feu, une cartouche ou un projectile au moyen d'un mécanisme explosif. Il s'agit, notamment, de revolvers, de pistolets à chargement automatique, de fusils et de carabines, de mitraillettes, de fusils d'assaut et d'armes automatiques légères (Nations Unies, 2008).
Champ de tir traditionnel	Installation permanente dotée de pas de tir fixes, d'un axe de tir fixe et de zones de danger. Le champ de tir traditionnel peut inclure une butte d'arrêt, des cadres de cibles, un système de cibles et comprend habituellement un abri pour les marqueurs et des bâtiments connexes (installations sanitaires, remise, entrepôt pour les cibles, etc.) (Défense nationale, 2009b).
Munition	Cartouche chargée composée d'une amorce, d'une charge propulsive et d'un projectile (Défense nationale 2012b).
Tir réel	Tir effectué avec des munitions réglementaires et des munitions d'exercice (Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, 2013).

INTRODUCTION

La démocratie, la liberté, la sécurité et la paix sont des valeurs importantes pour les Canadiens. Le 11 septembre 2001, le jour des attaques terroristes contre les États-Unis, beaucoup de Canadiens ont pris conscience de l'importance d'une force militaire pour assurer leur sécurité. Ceux-ci font confiance aux Forces canadiennes pour défendre le Canada et l'Amérique du Nord et pour contribuer à la paix et la sécurité internationale (Défense nationale, 2009a).

Pour répondre aux attentes du Gouvernement du Canada, les Forces canadiennes doivent entraîner plus de 100 000 militaires annuellement (Défense nationale, 2012a). Ces militaires doivent être en mesure d'effectuer un éventail d'opérations, dont l'appui aux autorités civiles canadiennes en cas de crise, ou encore effectuer des opérations de combat militaires outre-mer (Défense nationale, 2009a). C'est pourquoi plusieurs milliers de soldats s'entraînent chaque jour, sur des installations militaires situées partout au Canada, afin de développer les compétences requises pour accomplir leurs tâches.

L'exercice du tir est l'une des compétences clés que les militaires pratiqueront tout au long de leur carrière. Chaque année, les Forces canadiennes tirent environ 25 millions de balles dans les champs de tir d'armes légères (Santé Canada, 2013a). Cette activité a des impacts directs sur l'environnement. Chaque balle tirée dans un champ de tir d'armes légères introduit dans l'environnement des agents propulsifs (Brochu et autres, 2011a) et des métaux (*Interstate Technology Regulatory Council* (ITRC), 2005) qui peuvent nuire à la durabilité des champs de tir. Les agents propulsifs et les métaux peuvent avoir un impact sur l'environnement à long terme. D'ailleurs, les résultats de la caractérisation de plusieurs champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes démontrent que le sol de toutes les buttes de tir et les buttes d'arrêt était contaminé avec des agents propulsifs et des métaux. De plus, dans certains cas, les échantillons de l'eau souterraine et de surface étaient aussi contaminés avec des métaux (Défense nationale, 2012b).

Depuis le début des années 2000, les Forces canadiennes se penchent sur les impacts de la contamination sur l'environnement et la santé humaine attribuables à l'exercice du tir dans les champs de tir d'armes légères (Défense nationale, 2012b). Plusieurs actions, telles que de nouvelles politiques, des programmes et des projets environnementaux, furent mises en œuvre afin de gérer les impacts des contaminants et d'assurer la durabilité opérationnelle des champs de tir d'armes légères. Bien qu'il y ait eu beaucoup de progrès depuis les dix dernières années pour évaluer la problématique de contamination résultant des activités de tir, les Forces canadiennes n'ont toujours pas développé d'indicateurs pour mesurer l'efficacité des actions mises en place.

Dans ce contexte, l'objectif de cet essai est d'élaborer un outil capable d'évaluer, à l'aide d'indicateurs, la durabilité d'un champ de tir d'armes légères. Les indicateurs ont été développés en fonction des éléments qui influencent le niveau de risque en ce qui a trait à l'environnement, la santé humaine et la durabilité. Les indicateurs contenus dans la grille d'évaluation permettront aux Forces canadiennes de prendre des décisions éclairées quant à la conception, la mise en œuvre, l'utilisation et l'entretien des champs de tir d'armes légères. Ces décisions pourront réduire les impacts sur l'environnement et la santé humaine, assurer la conformité environnementale et maintenir l'entraînement.

Le présent essai comprend cinq (5) chapitres. Le premier chapitre présente les Forces canadiennes, décrit les champs de tir d'armes légères et brosse le tableau du cadre réglementaire applicable aux champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes. Ce chapitre permettra aussi au lecteur de mieux comprendre les enjeux opérationnels associés aux problématiques environnementales découlant de l'utilisation des champs de tir d'armes légères. Le deuxième chapitre cerne et analyse les effets négatifs sur l'environnement qui découlent des activités pratiquées dans les champs de tir d'armes légères. L'analyse des effets négatifs permet de poser un diagnostic détaillé sur l'état de l'environnement et de cibler les aspects qui peuvent influencer sur la durabilité des champs de tir d'armes légères. Le troisième chapitre expose la méthodologie utilisée pour développer la grille d'évaluation et pour présenter la liste des indicateurs qui serviront à évaluer la durabilité. Le quatrième chapitre présente les indicateurs, la grille d'évaluation et les résultats de l'évaluation de la durabilité de deux (2) champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes. Le cinquième chapitre regroupe et énumère les recommandations émises par l'auteur de cet essai. Finalement, les points saillants de cet essai sont présentés dans la conclusion.

Cet essai est appuyé par des sources diversifiées et fiables provenant exclusivement de sites gouvernementaux, paragouvernementaux, militaires, d'institutions reconnues, de travaux de recherches scientifiques validés par des pairs et de textes législatifs. Chaque source est clairement identifiée, retraçable et consultable au besoin.

1. MISE EN CONTEXTE

Les champs de tir d'armes légères sont essentiels aux Forces canadiennes pour préparer les soldats aux missions qu'ils devront accomplir. L'exercice du tir réel permet aux soldats d'acquérir les habiletés requises aux manèges d'armes pour l'accomplissement des tâches qui leur seront assignées. Pour cela, les Forces canadiennes comptent plus de 250 champs de tir d'armes légères au Canada (Laporte-Saumure, 2010). Cependant, l'utilisation des champs de tir d'armes légères peut provoquer des impacts négatifs, qui dans certains cas sont importants, sur l'environnement et la santé humaine.

Ce chapitre a pour objectif de permettre au lecteur de mieux comprendre le contexte entourant les champs de tir d'armes légères. Ce chapitre est divisé en six (6) sections. La section 1.1 a pour objectif de donner un aperçu des rôles, des missions et des besoins en entraînement des Forces canadiennes. Cette section présente aussi les principales caractéristiques, le mode d'utilisation et les activités des champs de tir d'armes légères. La section 1.2 décrit la gouvernance associée à l'évaluation et à la planification, l'acquisition, le fonctionnement, l'entretien et l'aliénation des champs de tir d'armes légères. La section 1.3 décrit la méthode de gestion de l'environnement utilisée au sein du ministère de la Défense nationale pour administrer les aspects environnementaux significatifs. La section 1.4 brosse un tableau du cadre réglementaire environnemental applicable au ministère de la Défense nationale et aux Forces canadiennes. La section 1.5 présente les directives du ministère de la Défense nationale qui sont applicables à la gestion de l'environnement et à l'évaluation environnementale. La section 1.6 donne un aperçu du cadre de développement durable des Forces canadiennes.

1.1 Les Forces canadiennes

Les Forces canadiennes occupent une place importante dans la société canadienne. Elles font partie de l'histoire du Canada depuis 1868, année où le ministère de la Milice et de la Défense canadienne fut créé (Passerelle pour l'histoire militaire canadienne, 2011). En 1871, le gouvernement canadien mit en place les premières unités de milice; en 1910, il conçut la Marine royale canadienne et l'Aviation royale canadienne en 1924 (Défense nationale, s.d.). Aujourd'hui, les Forces canadiennes comptent sur 101 000 soldats et 5 000 Rangers canadiens répartis dans chacune des provinces et chacun des territoires canadiens (Défense nationale, 2012a). La figure 1.1 illustre l'emplacement des bases des Forces canadiennes au Canada.



Figure 1.1 : Bases des Forces canadiennes au Canada (tiré de Défense nationale, 2012c)

La marine, l'armée et l'aviation réunissent les principaux centres d'entraînement militaires. Ces centres ont pour objectif de préparer les militaires aux rôles et missions qu'ils devront exécuter pour répondre aux attentes du gouvernement du Canada (Défense nationale, 2012d).

Le Gouvernement du Canada a attribué trois (3) rôles et six (6) missions aux Forces canadiennes (Défense nationale, 2009a). Les trois (3) rôles sont :

1. Protéger le Canada;
2. Défendre l'Amérique du Nord en collaboration avec les États-Unis;
3. Participer à la paix et à la sécurité internationale (Défense nationale, 2009a).

Le Gouvernement du Canada a mandaté les Forces canadiennes d'exécuter les six (6) missions suivantes, et ce possiblement toutes à la fois :

1. Mener de façon quotidienne des opérations nationales et continentales;
2. Offrir du support dans le cadre d'évènement international important au Canada tel que les Jeux olympiques;

3. Répondre à une attaque terroriste;
4. Appuyer les autorités civiles en cas de crise au Canada;
5. Diriger et/ou mener, durant une période prolongée, une opération internationale importante;
6. Déployer des forces à l'étranger, pour une période de courte durée, en cas de crise (Défense nationale, 2009a).

Ces rôles et missions des Forces canadiennes permettent au Chef d'état-major de la Défense, qui commande les Forces canadiennes, de déterminer le niveau de préparation requis des soldats pour assurer la disponibilité opérationnelle requise. Le niveau de préparation requis en 2013 nécessite que les Forces canadiennes :

- Assignent plus de 9 000 soldats à la défense et à la protection des frontières, des ressources naturelles et à la défense de l'Amérique du Nord;
- Entraînent 8 000 soldats en vue d'une mission à l'extérieur du pays;
- Déploient environ 3 000 soldats en mission à l'extérieur du pays (Défense nationale, 2013a).

Pour répondre au mandat donné par le Gouvernement du Canada, les Forces canadiennes entraînent quotidiennement 20 000 soldats jusqu'à ce qu'ils atteignent l'état de préparation requis pour exécuter les missions qui leur sont assignées.

1.1.1 La préparation d'un soldat au combat

Pour atteindre les objectifs du Gouvernement du Canada en matière de défense, les Forces canadiennes doivent entraîner les soldats à faire face à un vaste éventail de situations. Ainsi, les soldats devront être en mesure d'exécuter des missions relatives à la sécurité nationale, comme assurer la protection aux événements d'envergure comme les Jeux olympiques, le G8 ou encore de répondre à une attaque terroriste. Sur la scène internationale, ils devront aussi accomplir des missions humanitaires, de paix ou de sécurité (Défense nationale, 2013b).







Pour accomplir leurs missions, les soldats doivent s'entraîner pour atteindre le niveau de préparation nécessaire pour accomplir leurs rôles avec succès. Le tir d'armes légères fait partie de l'entraînement qui est essentiel aux soldats. D'ailleurs, les Forces canadiennes considèrent que chaque soldat doit être en mesure d'utiliser efficacement les armes légères pour faire face à toutes les circonstances découlant des missions à accomplir (Défense nationale, 2001). Ainsi, chaque militaire est tenu d'utiliser les armes qui lui sont assignées avec efficacité, précision et confiance.

Pour atteindre les niveaux d'efficacité et de précisions requises, un soldat qui sera déployé à l'extérieur du pays devra tirer plus de 1659 projectiles avec son arme personnelle lors de l'entraînement préparatoire du déploiement (*National Defence*, 2007). Par contre, un soldat qui demeure au pays et qui est affecté à des tâches administratives devra tirer au moins 150 projectiles lors de la qualification annuelle (*National Defence*, 2007). Au total, les Forces canadiennes tirent plus de 25 millions de projectiles (Santé Canada, 2013a) introduisant ainsi une très grande quantité de contaminants dans les champs de tir d'armes légères.

1.1.2 Le champ de tir d'armes légères

Le champ de tir d'armes légères est une installation qui permet aux soldats de pratiquer en toute sécurité le tir à l'arme légère. Chaque installation militaire regroupe plusieurs champs de tir d'armes légères pour répondre à l'entraînement requis pour chaque type d'armes. Il y a les champs de tir à courte portée de 15 et 25 mètres pour le pistolet et le fusil de chasse, à moyenne et longue portée de 300, 600 et 1000 mètres pour le tir de précision et les séances d'entraînement avec les armes collectives (Défense nationale, 2009b). Le tableau 1.1 montre quelques armes utilisées par les soldats canadiens dans les champs de tir d'armes légères.

Tableau 1.1 : Armes légères des Forces canadiennes (Canadian American Strategic Review, s.d.)

	Pistolet Browning, arme à courte portée.
	Fusil de chasse, Remington 870, calibre 12, arme à courte portée.
	Fusil d'assaut C7, arme à moyenne portée.
	Mitraillette légère C9, arme à moyenne portée.
	Mitrailleuse à usage multiple C6, arme à moyenne portée.
	Fusil Lee Enfield, arme à moyenne portée.
	Fusil utilisé par les tireurs d'élite C3A1, arme à longue portée.

Le nombre de champs de tir est déterminé par le niveau d'entraînement assigné à chaque installation militaire (Défense nationale, 2009b). À titre d'exemple, la base des Forces canadiennes de Petawawa, une base militaire d'entraînement de l'Armée canadienne, compte à elle seule sept (7) champs de tir d'armes légères (Brochu et autres, 2009). Au total, les Forces canadiennes comptent plus de 250 champs de tir d'armes légères en service au Canada (Laporte-Saumure, 2010).

La figure 1.2 présente une coupe transversale des composantes principales retrouvées dans un champ de tir traditionnel.

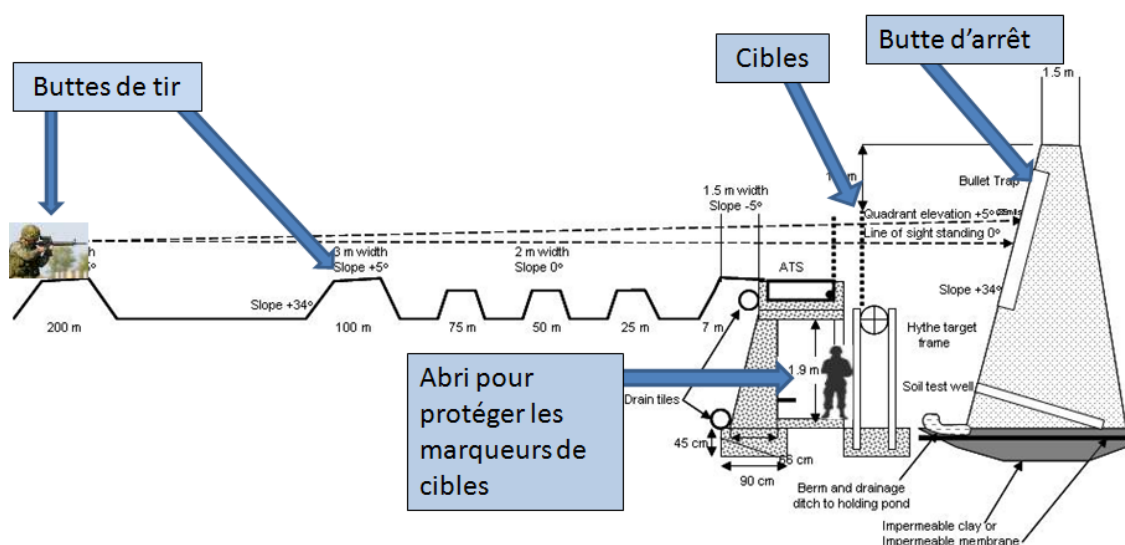


Figure 1.2 : Aménagement traditionnel d'un champ de tir d'armes légères (inspiré de Défense nationale, 2009b, p. 160)

Dans un champ de tir d'armes légères, il y a deux (2) composantes qui sont habituellement contaminées soient la butte de tir et la butte d'arrêt. La butte de tir est généralement contaminée avec des agents propulsifs (Brochu et autres, 2011a) tandis que la butte d'arrêt est surtout contaminée avec des métaux (Ampleman et autres, 2009). Une analyse détaillée des contaminants est donnée à la partie 2.1 de l'analyse.

La butte de tir est une composante importante pour l'exercice du tir. Celle-ci permet aux tireurs de faire face aux cibles et de se positionner exactement à des distances de tir prédéterminées de 100 mètres. La figure 1.3 montre une butte de tir traditionnelle que l'on retrouve dans la majorité des champs de tir d'armes légères. La figure 1.4 illustre un tireur en position de tir sur la butte de tir.



Figure 1.3 : Butte de tir (Ampleman et autres, 2009, p. 33)



Figure 1.4 : Tireur du 1^{er} Bataillon du Nova Scotia Highlander (North) (Facebook, s.d.)

La butte d'arrêt est un monticule naturel ou construit (figure 1.5) qui arrête la course des projectiles pour réduire la zone de danger et assurer la sécurité du personnel et du public à l'arrière de l'aire de tir (Défense nationale, 2009b). Le manuel de *Construction et maintenance des champs de tir* définit les standards et les normes concernant les dimensions et les matériaux à utiliser pour la butte d'arrêt. Ainsi, le manuel mentionne que le sol utilisé pour une butte d'arrêt doit contenir de la glaise, du sable, et du calcaire (Défense nationale, 2009b).



Butte d'arrêt construite

Butte d'arrêt naturelle

Figure 1.5 : Buttes d'arrêt (tiré de Défense nationale, 2009b, p. 181)

Un champ de tir d'armes légères peut aussi comporter d'autres structures telles que des routes d'accès, des barrières, des clôtures, un parc de stationnement, un bâtiment administratif, un cabanon pour l'entreposage des cibles et des installations sanitaires (Défense nationale, 2009b).

1.2 La gouvernance

Pour mieux saisir les aspects associés à la durabilité d'un champ de tir, il est important de comprendre la gouvernance associée à l'évaluation et à la planification, l'acquisition, le fonctionnement, l'entretien et l'aliénation des champs de tir d'armes légères. Ainsi, celle-ci est partagée entre des organisations nationales, régionales et locales qui possèdent un niveau d'autorité et de responsabilité qui leur est propre.

1.2.1 Gouvernance nationale

Au niveau national, le Sous-ministre adjoint (infrastructure et environnement), le quartier général du système de la doctrine et de l'instruction de l'Armée canadienne et les états majors des commandements opérationnels se partagent des responsabilités diverses pour assurer la gestion des champs de tir.

Le Sous-ministre adjoint (infrastructure et environnement) est l'autorité responsable qui régit l'acquisition et la disposition de tous les biens immobiliers pour le ministère. De plus, il est responsable du développement et de la mise en œuvre des politiques et des procédures environnementales applicables aux Forces canadiennes et au ministère de la Défense nationale incluant les champs de tir d'armes légères (Défense nationale, 2013c).

Pour sa part, l'organisation que l'on surnomme le Système de la doctrine et de l'instruction de la Force terrestre (SDIFT) est responsable de développer et de mettre en œuvre les politiques et les normes nationales concernant la construction et l'entretien de tous les champs de tir des Forces

canadiennes (Défense nationale, 2009b). Ainsi, le SDIFT est responsable de la publication du *Manuel de construction et de maintenance des champs de tir* dans lequel sont établies les normes minimales à respecter pour la construction, l'entretien, la sécurité et le fonctionnement des champs de tir d'armes légères.

Les activités de gestion, de planification, de construction (autres que les normes), d'utilisation, de maintenance et de fermeture d'un champ tir d'armes légères sont administrées par les commandants respectifs de la marine, de l'armée, de la force aérienne et des opérations spéciales. Chacun de ces commandants délègue son autorité à des officiers responsables des champs de tir et des secteurs d'entraînement situés dans les postes de commandement nationaux, régionaux et locaux. De plus, chacun de ces commandements opérationnels est tenu d'établir et de mettre en place des politiques de gestion et de contrôle efficace pour tous les champs de tir sous leur responsabilité. Ils ont aussi l'obligation de satisfaire les besoins opérationnels tout en assurant la durabilité environnementale (Défense nationale, 2009b).

1.2.2 Gouvernance régionale

Au niveau régional, les commandants de formation et de secteur sont tenus de mettre en application les politiques et les normes émises par les organisations du niveau national en ce qui a trait aux champs de tir d'armes légères.

1.2.3 Gouvernance locale

Pour leur part, les commandants de bases militaires gèrent et coordonnent l'entretien journalier des champs de tir sous leur responsabilité. Ils sont mandatés pour faire appliquer les lois, les règlements, les politiques et les normes auprès de tous les usagers qui utilisent les champs de tir (Défense nationale, 2009b).

1.3 La gestion de l'environnement

La gestion de l'environnement est régie au sein du ministère de la Défense nationale par la Directive et ordonnance administrative de la Défense (DOAD) 4003-0. Cette directive stipule que la gestion de l'environnement s'effectue à l'aide d'un système de gestion de l'environnement (SGE) qui doit être conforme à la norme ISO 14001 (Défense nationale, 1999a). Le SGE chapeaute la gestion de tous les aspects environnementaux significatifs du ministère et s'applique à tous les employés et gestionnaires du ministère de la Défense nationale et des Forces canadiennes. Il exige que tous les gestionnaires des entités opérationnelles soient l'armée, la marine, les forces aériennes et les opérations spéciales développent et mettent en œuvre un SGE applicable à leurs

activités. De plus, les gestionnaires sont contraints de démontrer l'efficacité de leur SGE (Défense nationale, 2008).

1.4 Le cadre réglementaire

Cette section a pour objectif de présenter le cadre réglementaire environnemental applicable au ministère de la Défense nationale et aux Forces canadiennes en ce qui a trait aux champs de tir d'armes légères. La conformité réglementaire est un élément clé de durabilité, donc un aspect important de l'outil de mesure de durabilité.

Plusieurs lois et règlements encadrent les activités relatives aux champs de tir d'armes légères. Les prochaines sections brossent un tableau des lois, des règlements fédéraux et des directives qui légifèrent en matière d'environnement les champs de tir d'armes légères.

1.4.1 Les lois fédérales sur l'environnement

Cette partie de l'essai met l'accent sur les éléments des lois environnementales qui peuvent s'appliquer aux activités d'entraînements et aux champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes. La liste des lois applicables au ministère de la Défense nationale et aux Forces canadiennes est répertoriée dans le *Rapport sur les plans et priorités de 2012-2013* (Défense nationale, 2012a). Ces lois sont :

- La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE);
- La *Loi fédérale sur le développement durable* (LFDD);
- La *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE);
- La *Loi sur les espèces en péril*;
- La *Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs* (LCOM);
- La *Loi sur les pêches*.

1.4.2 La Loi canadienne sur la protection de l'environnement (LCPE)

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* est la pierre angulaire de la législation au Canada en ce qui a trait à l'environnement (Environnement Canada, 2010). Cette loi vise la prévention et la protection de l'environnement et de la santé humaine, et le développement durable (Environnement Canada, 2010). Les principes de développement durable, de prévention de pollution, et de prudence, tels que décrits dans la LCPE sont particulièrement importants dans le contexte de durabilité des champs de tir d'armes légères.

À cet effet, la LCPE s'applique à toutes les activités des Forces canadiennes, incluant les activités pratiquées dans les champs de tir d'armes légères, puisque les Forces canadiennes relèvent directement de la compétence législative du Parlement (article 91.7 *Loi constitutionnelle de 1867*). Par conséquent, en vertu de l'article 2 de la loi, les Forces canadiennes sont tenues de prendre les mesures suivantes :

- Protéger l'environnement et la santé humaine;
- Prendre des mesures préventives et correctives;
- Adopter une approche qui respecte les écosystèmes;
- Prendre des décisions économiques et sociales en tenant compte de l'environnement;
- Appliquer le principe de la prudence;
- Promouvoir les méthodes applicables de prévention de la pollution;
- Encourager la participation des Canadiens à la prise des décisions;
- Agir avec diligence (LCPE, 1999).

Cette loi comprend aussi d'autres dispositions directement applicables à la gestion des champs de tir d'armes légères. Ces dispositions sont (LCPE, 1999) :

- La prévention de la pollution;
- La gestion des substances toxiques;
- Le contrôle de la pollution et des déchets;
- Les opérations gouvernementales sur les territoires domaniaux et autochtones.

Toutes les substances toxiques qui sont incluses à l'*Annexe 1* de la LCPE sont répertoriées dans l'inventaire national des rejets de polluants (INRP). Ainsi en 2011, selon l'INRP, 66 % du plomb rejeté dans l'environnement provenait des Forces canadiennes (Environnement Canada, 2011).

1.4.3 La Loi fédérale sur le développement durable (LFDD)

La *Loi fédérale sur le développement durable* (LFDD) ne s'applique pas directement aux activités des champs de tir d'armes légères. Par contre, cette loi s'applique au ministre de la Défense nationale qui, en vertu de l'article 11. (1), doit élaborer une stratégie de développement durable qui est conforme et qui contribue à l'atteinte des objectifs de la stratégie fédérale de développement durable. La stratégie du ministre de la Défense nationale doit être renouvelée tous les trois ans selon l'article 11. (2) de la loi. Le ministre de la Défense nationale a récemment publié la *Stratégie environnementale de la Défense* afin de répondre à l'exigence de la LFDD.

1.4.4 La Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (LCEE)

L'objectif premier de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE) est de promouvoir :

« Le développement durable en contribuant à l'élimination ou à la réduction des impacts environnementaux potentiels avant la mise en œuvre d'un projet et en s'assurant que les mesures d'atténuation sont mises en œuvre une fois le projet est mis en place » (Agence canadienne d'évaluation environnementale, 2013).

Faisant suite aux changements apportés en 2012 à la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et en vertu des projets énumérés dans l'annexe du *Règlement désignant les activités concrètes* (2012), seulement deux (2) activités découlant des champs de tir d'armes légères sont assujetties à l'évaluation environnementale. Les articles 22 et 24 du *Règlement désignant les activités concrètes* (2012) décrivent ces activités applicables aux champs de tir d'armes légères :

« Article 22. La construction, l'exploitation, la désaffectation et la fermeture, à l'extérieur d'une base militaire existante, d'un secteur d'entraînement, d'un champ de tir ou d'un centre d'essai et d'expérimentation pour l'entraînement militaire ou l'essai d'armes.

Article 24. La désaffectation et la fermeture d'une base ou d'une station militaire » (*Règlement désignant les activités concrètes*, 2012).

1.4.5 La Loi sur les espèces en péril

La *Loi sur les espèces en péril* a pour objectif de mettre en place des dispositions pour empêcher la disparition des espèces sauvages et pour promouvoir la gestion des espèces préoccupantes. Les activités effectuées durant les phases d'acquisition, de fonctionnement, d'entretien et d'aliénation peuvent déclencher l'application de la loi.

Les principaux aspects de la loi qui peuvent être applicables aux activités pratiquées dans les champs de tir d'armes légères visent les interdictions générales concernant les espèces disparues du pays et en voie de disparition ou menacées. Pour une espèce sauvage inscrite comme disparue, en voie de disparition ou menacée, la loi stipule qu'il est interdit :

- De tuer, de harceler, ou de capturer les individus;
- D'endommager ou de détruire la résidence d'un ou plusieurs individus;
- De détruire une composante de l'habitat essentiel (*Loi sur les espèces en péril*, 2002).

La loi est aussi applicable lorsqu'un projet associé aux champs de tir d'armes légères nécessite une évaluation environnementale en vertu de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* et que le projet est susceptible de causer des impacts à une espèce sauvage inscrite dans les listes des annexes 1 à 3.

1.4.6 La Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs (LCOM)

La *loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs (LCOM)* a pour objectif de protéger les oiseaux migrateurs et leurs nids. Les activités des champs de tir d'armes légères tels que la construction, l'entretien, l'exercice du tir, l'enlèvement des mauvaises herbes et la coupe du gazon peuvent nuire à l'habitat des oiseaux migrateurs et leurs nids et ainsi entraîner l'application de la loi.

Dans les cas où les activités relatives aux champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes interfèrent avec les oiseaux migrateurs et leurs nids, les interdictions suivantes de la *loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs et de ses règlements* sont applicables :

- Interdiction de rejeter des substances nocives dans l'habitat des oiseaux migrateurs et leurs nids;
- Interdiction de détruire les nids ou de déranger les oiseaux migrateurs qui se trouvent à l'intérieur d'un refuge énoncé dans l'annexe du règlement. Cet article est applicable seulement si le champ de tir d'armes légères est situé dans une zone qui est établie comme refuges d'oiseaux migrateurs (*Règlement sur les refuges d'oiseaux migrateurs, 2013*).

1.4.7 La Loi sur les pêches

La *loi sur les pêches* vise à protéger l'habitat du poisson partout au Canada (*Pêches et Océans Canada, 2013*). Pour bien comprendre l'étendue de cette loi, il faut faire référence à la définition de l'habitat du poisson. Selon la loi, l'habitat du poisson comprend :

« Frayères, aires d'alevinage, de croissance et d'alimentation et routes migratoires dont dépend, directement ou indirectement, la survie des poissons »
(*Loi sur les pêches, 1985*).

Les grandes installations d'entraînement militaire telles que Gagetown, Valcartier et Petawawa, sont toutes traversées par plusieurs cours d'eau qui pourraient faire lieu d'habitat du poisson. Les activités entourant les champs de tir d'armes légères, tels que la construction, l'entretien et la

réhabilitation des buttes de tir sont toutes susceptibles d'avoir des impacts sur l'habitat du poisson et ainsi de provoquer l'application de la loi.

La *loi sur les pêches* s'applique particulièrement aux activités des champs de tir d'armes légères en vertu des articles 35. (1) et 36. (3). L'article 35. (1) stipule l'interdiction générale de perturber, d'endommager ou de détruire l'habitat du poisson. Pour sa part l'article 36. (3) fixe l'interdiction de rejeter des substances nocives dans l'habitat du poisson (Pêches et Océans Canada, 2013).

1.4.8 Le cadre réglementaire provincial

Le cadre réglementaire provincial ne s'applique pas à la gestion des champs de tir d'armes légères puisque les Forces canadiennes et leurs activités sont sous l'autorité législative exclusive du Parlement du Canada selon l'article 91.7 de la *Loi constitutionnelle de 1867*.

1.5 Les directives

Le ministère de la Défense nationale a publié deux (2) directives et ordonnances administratives de la Défense (DOAD) relatives à la gestion de l'environnement. Celles-ci sont applicables aux champs de tir d'armes légères.

1.5.1 DOAD 4003-0, protection et gérance de l'environnement

La DOAD 4003-0 met l'accent sur les principes de développement durable, de prévention de la pollution et de diligence raisonnable (Défense nationale, 1999a). Elle élabore la politique de l'environnement et dicte les responsabilités du ministère de la Défense nationale et des Forces canadiennes vis-à-vis :

- Le Code de gérance de l'environnement;
- La stratégie de développement durable;
- Les évaluations environnementales;
- La diligence raisonnable;
- Le système de gestion de l'environnement (SGE);
- L'amélioration continue (Défense nationale, 1999a).

L'objectif premier de cette directive est d'assurer que tous les militaires et les employés du ministère de la Défense nationale respectent et gèrent efficacement l'environnement pour protéger les biens publics et non publics dont ils ont la gestion. Cet objectif s'applique à la gestion des champs de tir d'armes légères. D'ailleurs, les éléments du code de gérance de l'environnement de la DOAD 4003-0, énoncés ci-après, sont des éléments qui s'appliquent à la gestion

environnementale des champs de tir d'armes légères auxquels les Forces canadiennes se sont engagées à :

- Intégrer les facteurs environnementaux dans la prise de décision;
- Suivre ou dépasser l'esprit ou la lettre la législation fédérale;
- Prendre des mesures pour prévenir la pollution découlant des activités et des opérations quotidiennes;
- Administrer les propriétés sans nuire à l'environnement (Défense nationale, 1999a).

1.5.2 DOAD 4003-2, évaluation environnementale

Pour sa part, la DOAD 4003-2 s'applique aux évaluations environnementales relatives aux activités du ministère de la Défense nationale et des Forces canadiennes. L'objectif de cette directive est de présenter les grandes lignes de la *Loi canadienne sur l'évaluation environnementale* (LCEE), avant que celle-ci ne soit modifiée en 2012, et d'assurer la mise en œuvre des évaluations environnementales lorsqu'elles sont requises (Défense nationale, 1999b). Cette directive s'applique particulièrement aux champs de tir d'armes légères lors des phases de construction, de nettoyage et de démantèlement.

1.6 Le développement durable

Cette section vise à établir quelles sont les définitions de durabilité et de développement durable pour les Forces canadiennes. Ces définitions serviront de point de départ pour l'outil de mesure de durabilité pour les champs de tir d'armes légères.

1.6.1 La stratégie de développement durable des Forces canadiennes

En vertu de la *Loi fédérale sur le développement durable* (LFDD), le ministre de la Défense nationale doit élaborer une stratégie de développement durable pour son ministère. Le ministère de la Défense nationale a mis en place la *Stratégie environnementale de la Défense* (traduction libre) en 2013. Cette stratégie comporte quatre (4) thèmes :

- Approvisionnement, contrats et services commerciaux plus écologiques;
- Protections des biens;
- Gestion plus efficace des ressources utilisées;
- Gestion plus efficace des substances et produits (*National Defence*, 2013).

Un seul pilier de la stratégie a un lien direct avec la durabilité de champs de tir d'armes légères. Le pilier « *protection des biens* » mentionne que les munitions doivent être gérées de façon à réduire

l’empreinte environnementale. Cependant, la stratégie n’inclut aucun objectif à atteindre en ce qui concerne les munitions et leurs utilisations.

Les Forces canadiennes développent en ce moment un plan d’action pour la *Stratégie environnementale de la Défense*. Ce plan d’action n’est pas encore publié, il n’est donc pas possible d’établir s’il y aura des objectifs et des cibles qui seront établis pour les champs de tir d’armes légères.

1.6.2 La définition de durabilité des Forces canadiennes

Pour établir un outil de mesure de la durabilité des champs de tir d’armes légères, il faut à priori définir le terme « durabilité ». Cette définition facilitera le choix des indicateurs qui serviront à mesurer le niveau de durabilité des champs de tir d’armes légères.

Les définitions suivantes sont considérées comme importantes dans le cadre de cet essai. Tout d’abord, la définition de durabilité énoncée dans la *Loi fédérale sur le développement durable* (LFDD) du Canada définit la durabilité comme la :

« Capacité d’une chose, d’une action, d’une activité ou d’un processus à être maintenu indéfiniment » (*Loi fédérale sur le développement durable*, 2008).

L’Office de la langue du Québec définit la durabilité comme la :

« Qualité d’un objet, d’une action ou d’une activité qui vise à satisfaire à des principes de respect à long terme de l’environnement physique, social et économique » (Office québécois de la langue française, 2013).

Ces deux (2) définitions mettent l’accent sur la capacité à maintenir indéfiniment ou à long terme une chose, une action, une activité ou un processus. Par contre, ces définitions demeurent tout de même très génériques et donnent peu d’indications sur ce que signifie le terme durabilité pour les champs de tir d’armes légères.

La définition de développement durable, pour les champs de tir d’armes légères, qui est énoncé dans la DOAD 4003-0 protection et gérance de l’environnement du ministère de la Défense nationale stipule que :

« Le développement durable signifie un développement qui permet de répondre aux besoins actuels sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs. Dans un contexte militaire, cela implique que les activités actuelles de défense sont effectuées de façon à minimiser les répercussions sur l'environnement qui pourraient menacer les besoins futurs » (Défense nationale, 1999b).

Cette définition signifie que les Forces canadiennes doivent minimiser les effets négatifs, découlant de la pratique du tir à l'arme légère, sur l'environnement tout en maintenant les opérations nécessaires à la mise en œuvre de leur mandat. L'environnement étant défini comme :

« L'ensemble des conditions et des éléments naturels de la terre, notamment :

- a) le sol, l'eau et l'air, y compris toutes les couches de l'atmosphère;
- b) toutes les matières organiques et inorganiques ainsi que les êtres vivants;
- c) les systèmes naturels en interaction qui comprennent les éléments visés aux alinéas a) et b) » (*Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*, 2012).

En tenant compte des définitions énumérées ci-dessus, l'outil d'évaluation de durabilité doit déterminer si les activités d'un champ de tir ont un impact sur l'environnement et doit mesurer l'ampleur de ces impacts.

La définition de développement durable tiré de la DOAD 4003-0 et les définitions de durabilité sont jugées trop générales et diffuses pour établir des objectifs clairs pour les champs de tir d'armes légères. L'auteur de cet essai recommande aux Forces canadiennes de développer une définition de durabilité qui tiendrait compte à la fois de l'environnement et des besoins opérationnels. Une telle définition permettrait de définir et de caractériser des objectifs précis à atteindre afin de favoriser le développement durable.

2. L'ANALYSE

Le but du chapitre précédent a été de mettre en contexte les éléments reliés aux champs de tir d'armes légères ainsi que le contexte législatif auquel les Forces canadiennes doivent adhérer.

Le présent chapitre consistera à cerner et à analyser les effets négatifs sur l'environnement qui découlent des activités pratiquées dans les champs de tir d'armes légères. L'analyse des effets négatifs permettra de poser un diagnostic détaillé sur l'état de l'environnement et de cibler les aspects qui peuvent influencer sur la durabilité.

Ce chapitre comprend quatre (4) sections. La section 2.1 identifie les problèmes qui émanent de l'exercice du tir dans les champs de tir d'armes légères. La section 2.2 définit le milieu récepteur et modélise l'interaction entre les récepteurs et les contaminants. La section 2.3 expose les caractéristiques des contaminants dans l'environnement, analyse et quantifie le niveau de risque de chaque contaminant pour chacun des récepteurs. La section 2.4 présente un résumé des risques les plus élevés qui peuvent perturber la durabilité des champs de tir d'armes légères.

Les résultats de cette analyse serviront de point de départ pour identifier et sélectionner les indicateurs qui seront utilisés dans l'outil d'évaluation.

2.1 L'identification des problèmes environnementaux des champs de tir d'armes légères

Tel qu'expliqué précédemment, l'exercice au tir est un élément essentiel pour la préparation des soldats des Forces canadiennes dans l'exécution de leurs tâches (*National Defence, 2007*). Cependant, cette pratique peut avoir des effets néfastes sur la durabilité d'un champ de tir d'armes légères, car cette activité introduit des contaminants dans l'environnement lors de la mise à feu des projectiles.

Brochu et autres (2011b) estiment que les petits sites d'entraînement militaire, tel que les champs de tir d'armes légères sont les plus contaminés, et ce, en raison de l'accumulation des contaminants sur de petites superficies. Cette accumulation de contaminants se produit lorsque les soldats pratiquent le tir réel. Les soldats utilisent des projectiles qui, lors de la mise à feu, projettent une balle à grande vitesse vers une cible spécifique. La figure 2.1 expose les quatre (4) composantes d'un projectile d'arme légère, la balle, la douille, la charge (intérieur de la douille) et l'amorce.

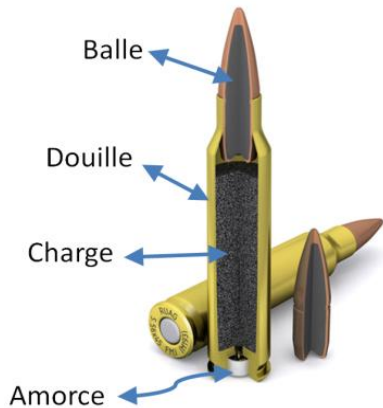


Figure 2.1 : Projectile d'arme légère 5,56 mm (inspiré de RUAG, 2013)

La balle est la partie avant du projectile qui est éjectée vers la cible. La composition exacte des métaux contenus dans la balle varie selon les caractéristiques de chaque fabricant. Chaque balle contient un mélange de plusieurs métaux, dont le plomb, le cuivre, le zinc et de l'antimoine (Marois et autres, 2004). Le plomb forme le noyau de la balle et varie en quantité selon le type de projectile utilisé. Par exemple, une balle de calibre de 5,56 mm contient 93,1 % de plomb, 1,9 % d'antimoine, 4,5 % de cuivre et 0,5 % de zinc (Laporte-Saumure, 2010). L'antimoine est utilisé pour durcir la balle, tandis que le cuivre et le zinc servent à recouvrir le noyau de la balle (Laporte-Saumure, 2010). La douille est la partie la plus imposante du projectile. Celle-ci est constituée de cuivre, zinc et nickel (Marois et autres, 2004). La charge se situe à l'intérieur de la douille et contient un matériel énergétique qui brûle très rapidement pour provoquer une expansion violente des gaz qui éjecte la balle (Nations Unies, 1999). Les matériaux énergétiques provoquant cette combustion et l'expansion rapide des gaz sont un amalgame de nitrocellulose, nitroglycérine, dibutylphthalate, graphite et dinitrotoluène (DNT) (Marois et autres, 2004). En ce qui a trait à l'amorce, celle-ci est fabriquée avec un matériel énergétique qui produit une étincelle qui allume la charge (Nations Unies, 1999).

Le centre de Recherche et développement de la défense du Canada (RDDC) indique, dans son document guide sur l'échantillonnage des sols dans les champs de tir militaire, que les buttes de tir et la butte d'arrêt d'un champ de tir d'armes légères doivent être considérées comme potentiellement contaminées (Thiboutot et autres, 2012). La figure 2.2 indique les zones potentiellement contaminées.

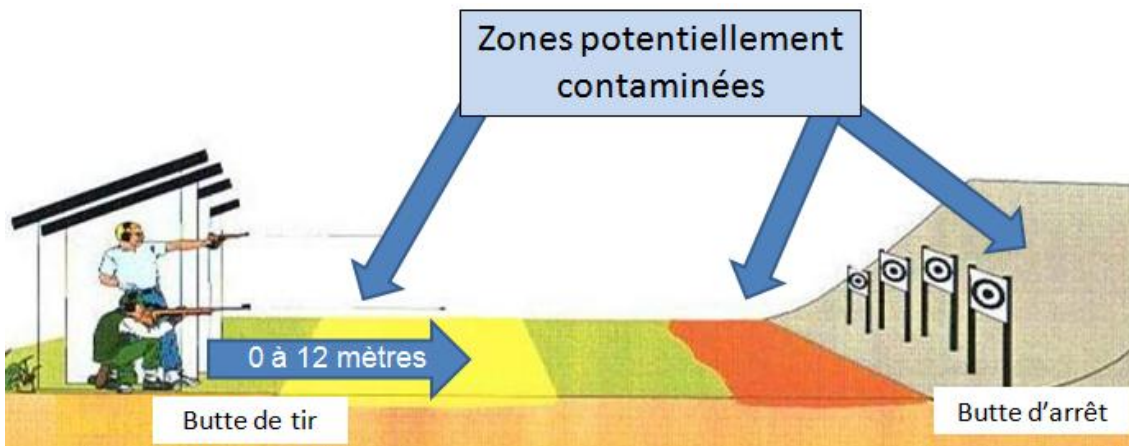


Figure 2.2 : Les zones potentiellement contaminées (inspiré d'ITRC 2003, p.7)

2.1.1 La butte de tir

Le sol de la butte de tir est contaminé par la combustion incomplète de la nitroglycérine et du 2,4 DNT contenus dans la charge du projectile lors de la mise à feu des agents propulsifs (Thiboutot et autres, 2012). Selon Brochu et autres (2011a), jusqu'à 2,03 mg de nitroglycérine par projectile d'arme légère peuvent être projetés sur le sol. Toujours selon la même source, lors du tir réel de projectiles, les résidus de nitroglycérine peuvent être éjectés jusqu'à une distance de 12 mètres à l'avant du canon du fusil. Les teneurs maximales observées à l'avant d'une butte de tir étaient près de 140 mg/kg pour la nitroglycérine et de 2 mg/kg pour le 2,4 DNT (Thiboutot et autres, 2012).

Certains métaux contaminent aussi la butte de tir. Marois et autres (2004) rapportent que du plomb, du cuivre et de l'antimoine furent observés sur les buttes de tir des champs de tir d'armes légères de la base des Forces canadiennes de Valcartier.

2.1.2 La butte d'arrêt

Depuis l'an 2000, le sol de plusieurs champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes a été caractérisé par le centre de Recherche et développement de la défense du Canada (RDDC) et l'Institut national de la recherche scientifique afin de déterminer la présence, le type et la teneur des contaminants. Les résultats de ces caractérisations démontrent que les buttes d'arrêt sont contaminées avec du plomb, de l'antimoine, du cuivre et du zinc. Ampleman et autres (2009) ont observé, lors de l'échantillonnage du champ de tir Alpha de la base militaire de Meaford en Ontario, des teneurs en plomb de 6 140 mg/kg, d'antimoine de 69,6 mg/kg, de cuivre de 227 mg/kg et de zinc de 33 mg/kg. Toutes ces quantités sont supérieures, sauf pour le zinc, aux critères industriels de la qualité des sols établis par le Conseil canadien des ministres en environnement (CCME) qui sont de 600 mg/kg pour le plomb, 40 mg/kg pour l'antimoine, 91 mg/kg pour le cuivre et de

360 mg/kg pour le zinc (CCME, s.d.). Diaz et autres (2008) rapportent des résultats similaires à Ampleman et autres (2009) pour les sortes de métaux retrouvés dans la butte d'arrêt du champ de tir *Range 1* de la base militaire de Wainwright en Alberta. Toutefois, les teneurs en métaux sont plus élevées, soit : 66 100 mg/kg de plomb, 932 mg/kg d'antimoine, 6 740 mg/kg de cuivre et 715 mg/kg de zinc.

2.2 Les récepteurs humains et environnementaux

Les contaminants introduits dans l'environnement lors de l'exercice du tir réel peuvent nuire à la durabilité des champs de tir d'armes légères lorsqu'ils occasionnent des effets néfastes qui nuisent à la santé humaine et l'environnement.

Pour évaluer les impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement, il faut ériger la liste des récepteurs potentiels qui peuvent subir les effets dommageables des contaminants. Le choix d'un récepteur doit être établi seulement si le récepteur est exposé au contaminant. Cette approche est recommandée par l'organisation américaine *Air Force Center for Environmental Excellence* (AFCEE) (2000).

Plusieurs organisations veillant à la gestion des champs de tir d'armes légères aux États-Unis ont développé des modèles conceptuels pour faciliter le choix des récepteurs. Le modèle conceptuel présenté à la figure 2.3 a été développé pour le *Massachusetts Army National Guard* pour simplifier la compréhension des voies potentielles d'exposition entre les récepteurs et les contaminants découlant de l'exercice du tir réel. Ce modèle permet d'identifier les récepteurs qui risquent d'être exposés aux contaminants.

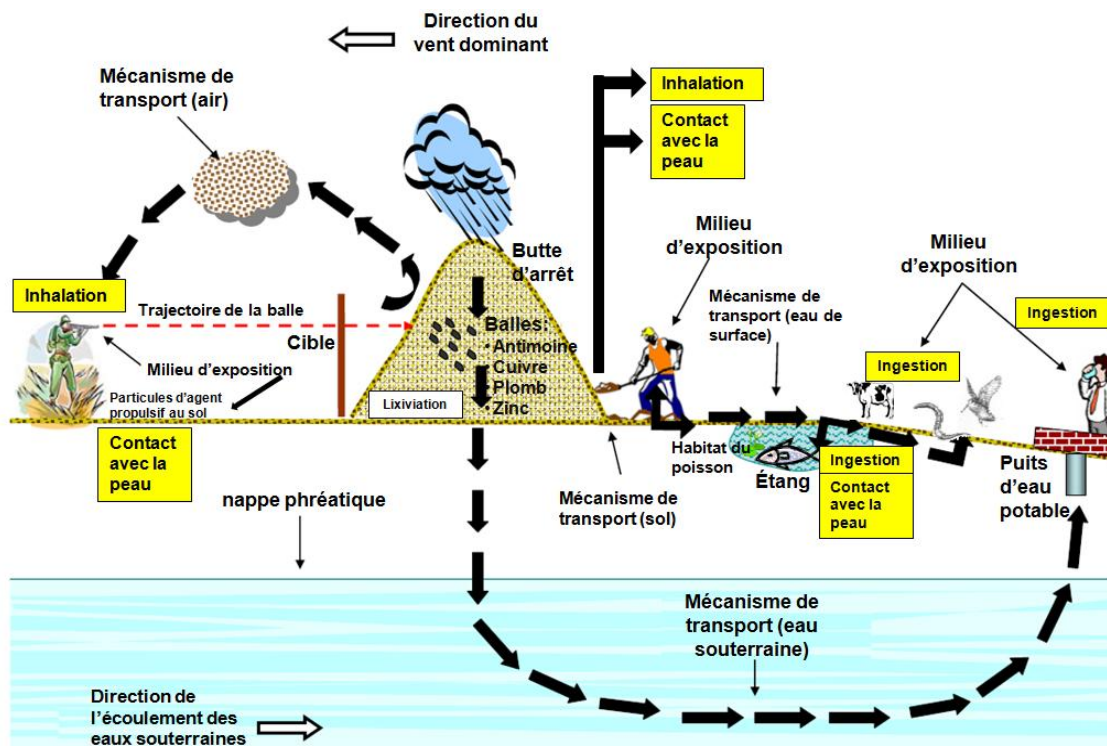


Figure 2.3 : Modèle conceptuel des voies potentielles d'exposition (inspiré de *Massachusetts Army National Guard, 2007, p. 5-16*)

Tel qu'indiqué préalablement, l'exposition aux contaminants joue un rôle important dans la sélection des récepteurs. Cependant, à lui seul, ce critère de sélection ne permet pas de déterminer si le récepteur subit des effets néfastes d'un contaminant. Si un contaminant a peu d'impacts négatifs sur un récepteur, il n'y aura pas ou peu d'impact sur la durabilité du champ de tir. Pour cela, les impacts potentiels des contaminants doivent être considérés lors de l'identification des récepteurs. L'évaluation qualitative des impacts peut être définie par plusieurs critères. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) du Québec a établi un éventail de critères pour mesurer l'ampleur des impacts sur les récepteurs. Les critères pour mesurer le niveau des impacts présentés ci-dessous sont tirés du Guide de réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement. Voici les critères de sélection qui ont été retenus;

- L'intensité ou l'ampleur de l'impact;
- L'étendue de l'impact;
- La durée de l'impact (caractère irréversible);
- La fréquence de l'impact (caractère intermittent);
- La probabilité de l'impact;
- La sensibilité ou la vulnérabilité de la composante environnementale affectée;

- La valeur de la composante environnementale pour l'ensemble de la population;
- La reconnaissance formelle de la composante environnementale par une loi, une politique, une réglementation ou une décision officielle;
- Les risques pour la santé, la sécurité et le bien-être de la population (MDDEP, 2002).

En considérant les interactions et les impacts potentiels des contaminants associés aux activités de tir réel des champs de tir d'armes légères, quatre (4) récepteurs humains et deux (2) récepteurs environnementaux ont été retenus aux fins de cet essai. Les récepteurs sont;

- Les soldats. Les soldats pratiquent le tir réel en moyenne deux (2) jours de huit (8) heures par année (Robidoux et autres, 2006). Les soldats sont directement exposés aux contaminants contenus dans le sol et l'air dans l'aire de tir et aux poussières potentiellement contaminées dans l'abri des marqueurs. Ce récepteur a été retenu, car les soldats sont exposés directement aux contaminants par l'inhalation, l'ingestion et les contacts avec la peau. Plusieurs études démontrent que les risques pour la santé des soldats sont élevés. Par exemple, la teneur moyenne de plomb en suspension dans l'air au sein de la zone immédiate d'inhalation peut atteindre jusqu'à $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la butte de tir (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007*). La norme établie par *Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* aux États-Unis pour le plomb dans l'air est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentration moyenne sur une période de huit (8) heures (OSHA, s.d.). Si les contaminants occasionnent des effets négatifs sur la santé des soldats lors des séances d'entraînement du tir réel, les champs de tir d'armes légères ne sont pas durables.
- Les instructeurs de tir. Tout comme les soldats, les instructeurs de tir sont exposés à la contamination des champs de tir d'armes légères lors des séances d'entraînement de tir réel. La voie principale d'exposition est l'inhalation puisque les instructeurs de tir sont exposés aux poussières et aux vapeurs contaminées qui se situent sur les buttes de tir et dans les abris des marqueurs. Comme ceux-ci peuvent passer dans une année jusqu'à 100 jours de huit (8) heures sur les champs de tir d'armes légères (Robidoux et autres, 2006), les instructeurs sont donc plus susceptibles à l'exposition que les soldats (ATSDR, 2007).
- Les travailleurs. Le terme travailleur, dans le cadre de cet essai, signifie une personne qui est employée par les Forces canadiennes pour effectuer des travaux d'inspection, d'entretien et de réhabilitation dans les champs de tir d'armes légères. Ces types de travaux comportent un risque élevé pour la santé et le bien-être des travailleurs lorsqu'ils

manipulent le sol, car les contaminants risquent d'être inhalés, ingérés, ou d'entrés en contact avec la peau.

- Le public. Le public signifie, dans le cadre de cet essai, la population avoisinante aux champs de tir d'armes légères et aux bases militaires. Le public n'inclut pas les militaires, les instructeurs et les travailleurs. Les contaminants représentent un risque à la santé du public lorsque ceux-ci migrent dans l'eau de surface ou souterraine à l'extérieur des champs de tir d'armes légères. Il y a donc possibilité de contamination de l'eau potable. Ce récepteur a été choisi puisqu'il y a de plus en plus de personnes qui vivent à proximité d'un champ de tir d'armes légères. Un contaminant qui aurait un impact négatif sur la santé humaine, la qualité de l'eau potable ou de l'eau utilisée pour les loisirs par le public influencerait immédiatement et sévèrement sur le niveau de durabilité puisqu'il y aurait un impact sur le bien-être de la population.
- L'habitat du poisson. On retrouve sur les bases militaires canadiennes beaucoup de lacs et de rivières qui abritent plusieurs espèces de poissons. Les contaminants des champs de tir d'armes légères comportent un risque s'ils migrent dans les eaux de surface jusqu'à l'habitat du poisson. Il est important de noter que l'habitat du poisson est protégé par la *Loi sur les pêches*. La contamination d'un habitat du poisson peut donc compromettre la durabilité d'un champ de tir d'armes légères.
- La faune. Nous retrouvons plusieurs espèces animales sur les bases militaires. Ces espèces peuvent séjourner et s'alimenter sur les champs de tir d'armes légères ou à proximité. Certaines espèces, telles que les espèces en péril, les oiseaux migrateurs et les herbivores peuvent ingérer des insectes et des plantes susceptibles d'avoir bioaccumulé des contaminants. De plus, certains herbivores, comme les chevreuils sont des espèces sportives qui risquent d'être consommés par les chasseurs.

Le choix des récepteurs permet de définir quelles sont les voies potentielles d'exposition aux contaminants. Le modèle présenté à la figure 2.4 est un modèle adapté du rapport de la *Massachusetts Army National Guard* (2007). Ce modèle est un organigramme qui, appuyé d'un graphique, présente les voies d'exposition entre les récepteurs et les contaminants. Il permet d'établir les interrelations entre l'activité du tir réel, la source des contaminants, les contaminants, les mécanismes de transport, les milieux d'exposition, les types d'exposition et les interactions potentielles avec les récepteurs. Les résultats de ce modèle sont utilisés dans l'analyse des risques de chacun des contaminants à la section 2.4.

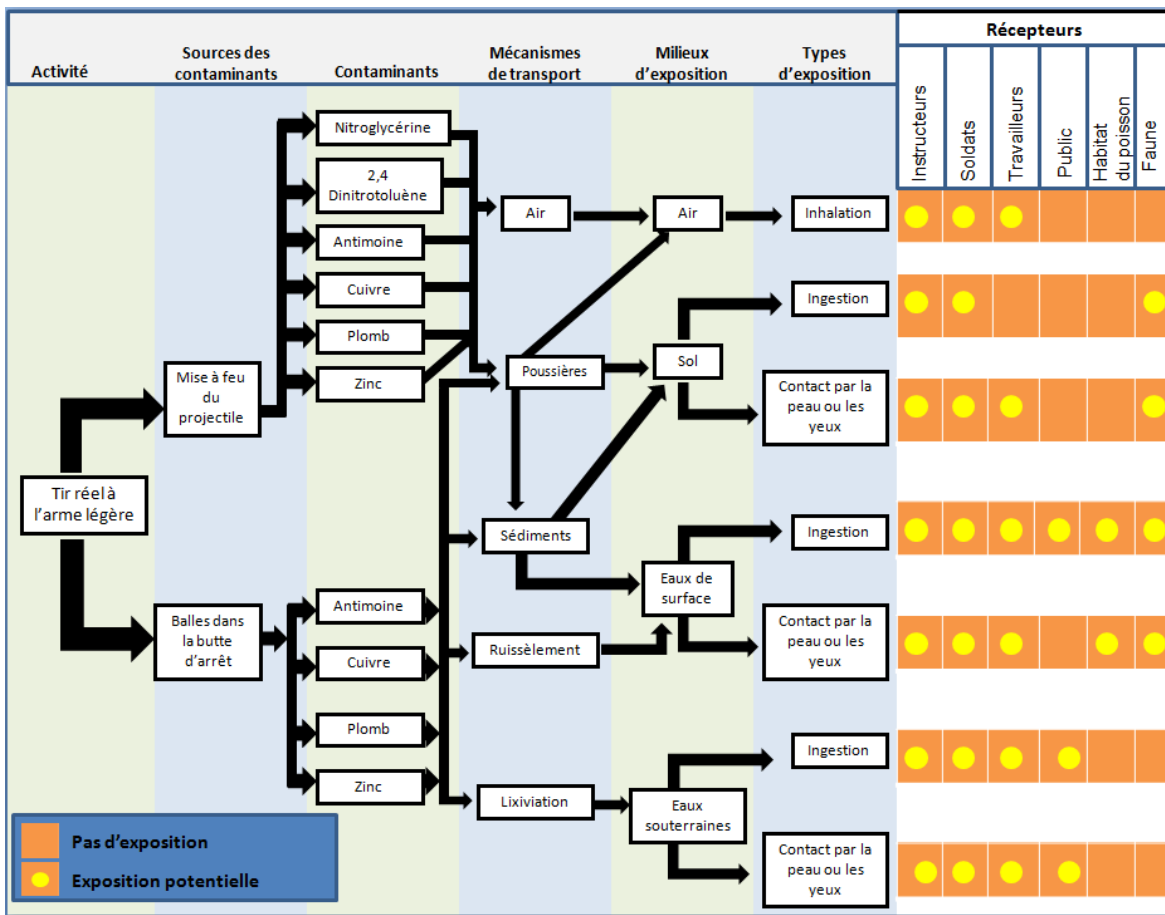


Figure 2.4 : Voies d'exposition entre les récepteurs et les contaminants (inspiré de AFCEE, 2000, p. 3-3 et de Massachusetts Army National Guard, 2007, p. 5-17)

2.3 Les contaminants

Le type et la concentration des contaminants retrouvés dans les champs de tir varient selon le type d'arme et de munition utilisée par les militaires. Ainsi, les contaminants retrouvés dans un champ de tir de grenade diffèrent d'un champ de tir utilisé pour le largage de bombes. Les contaminants retrouvés dans un champ de tir de grenade sont le RDX, HMX, TNT, 4 ADNT, 2 ADNT, cuivre, zinc et cadmium tandis que ceux retrouvés dans un champ de tir de bombardement sont RDX, TNT, plomb, cuivre, antimoine et cadmium (Thiboutot et autre, 2012). Pour faciliter la tâche des officiers d'environnement sur les bases militaires, Thiboutot et autre (2012) ont développé un protocole d'échantillonnage des sols qui établit la liste des contaminants les plus fréquemment observés pour chaque type de champs de tir. La liste des contaminants utilisés aux fins de cet essai est tirée de ce protocole d'échantillonnage des sols. Les contaminants analysés dans cette section sont la nitroglycérine (NG), le 2,4 dinitrotoluène (DNT), le plomb (Pb), l'antimoine (Sb), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn).

Les paramètres utilisés pour la qualité de l'environnement et de la santé seront de préférence canadiens. Par contre, en l'absence de paramètre canadien, les paramètres en provenance des États-Unis ou d'organismes scientifiques reconnus seront retenus à titre de références.

La présentation des caractéristiques importantes de chacun des contaminants sera suivie d'une analyse des risques sur l'environnement et la santé humaine. Cette analyse des risques a pour objectif de caractériser les risques. Cette caractérisation permettra de définir et de quantifier les risques pour chacun des contaminants et servira de base pour établir une liste d'indicateurs de durabilité.

2.3.1 La méthodologie pour l'analyse des risques

Selon Gormley et autres (2011), une analyse des risques est « un processus qui estime les conséquences d'une menace et la probabilité que celle-ci se produise ». Le but de ce type d'analyse est de classer, par ordre d'importance, les risques pour chacun des récepteurs.

L'analyse des risques des contaminants est basée sur deux facteurs qualitatifs, c'est-à-dire l'évaluation du niveau de sévérité de la toxicité potentielle de chacun des contaminants et l'évaluation de l'exposition des récepteurs. La combinaison de ces deux facteurs au sein d'une matrice permettra de cibler le risque associé à chacun des contaminants. La figure 2.5 illustre cette démarche méthodologique.

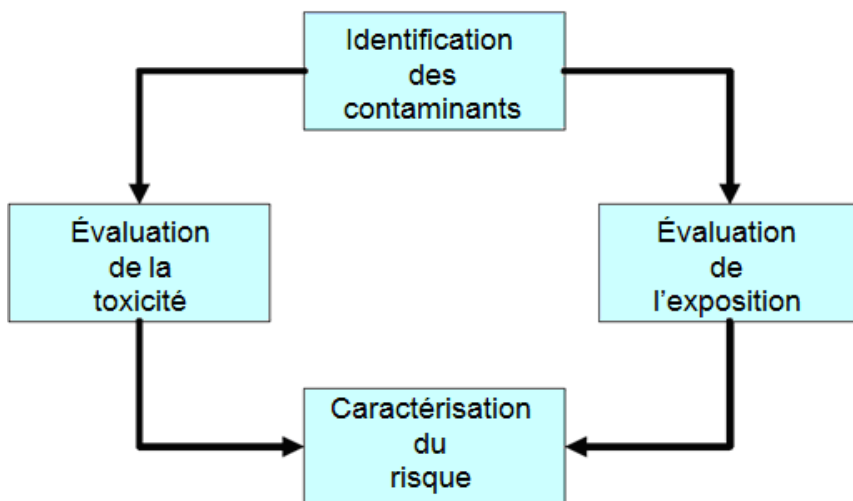


Figure 2.5 : Concept de caractérisation des risques (inspiré du *Department of Environment and Heritage*, 2003, p. 5)

Le premier facteur, l'évaluation du niveau de toxicité, est fondé sur les résultats d'une recherche documentaire effectuée pour chacun des contaminants. Il faut noter que la description des niveaux de toxicité du tableau 2.1 est utilisée uniquement à titre de guide afin de faciliter le classement des contaminants selon leur niveau de toxicité. De plus, la description des niveaux de sévérité de toxicité des contaminants a été développée sans l'appui de références, car aucune ne s'appliquait spécifiquement aux champs de tir d'armes légères. Les niveaux de sévérité de toxicité s'étalent sur cinq (5) niveaux et ces derniers sont décrits au tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Niveaux de sévérité de toxicité des contaminants

Nul	Le contaminant n'a aucun effet négatif sur le récepteur.
Faible	Le contaminant a un effet négatif mineur sur le récepteur.
Moyen	Le contaminant peut causer des effets négatifs aigus sur le récepteur. Les effets négatifs sont non permanents.
Élevé	Le contaminant peut causer des effets négatifs chroniques sur le récepteur. Les effets peuvent être permanents.
Très élevé	Le contaminant peut causer plusieurs effets négatifs chroniques sur le récepteur, et ce, même à faible dose. Les effets peuvent être permanents.

Le deuxième facteur requis afin d'effectuer l'analyse des risques est l'évaluation de l'exposition aux contaminants par les récepteurs. Cette évaluation a pour objectif de déterminer l'étendue ou le potentiel d'exposition entre le contaminant et le récepteur et se solde en cinq niveaux de probabilité d'exposition. Dans le cadre de cet essai, le niveau de l'exposition potentiel est évalué qualitativement en fonction de l'information disponible en ce qui a trait à la durée d'exposition, de la fréquence des expositions et la concentration du contaminant. La description de chacun des cinq niveaux de probabilité d'exposition est illustrée dans le tableau 2.2. Il faut noter que ce tableau est utilisé à titre de guide seulement afin de faciliter le classement des niveaux d'exposition entre les récepteurs et chacun des contaminants.

Tableau 2.2 : Critères d'évaluation de probabilité d'exposition

Nul	Le récepteur n'est pas exposé au contaminant.
Faible	Il y a une interaction entre le récepteur et le contaminant. La concentration du contaminant est inférieure aux normes établies pour une durée n'excédant pas huit (8) heures/jour.
Moyen	Il y a une interaction entre le récepteur et le contaminant. La concentration du contaminant excède les normes établies jusqu'à deux (2) fois pour une durée n'excédant pas huit (8) heures/jour.
Élevé	Il y a une interaction entre le récepteur et le contaminant. La concentration du contaminant excède les normes établies jusqu'à trois (3) fois pour une durée n'excédant pas huit (8) heures/jour.
Très élevé	Il y a une interaction entre le récepteur et le contaminant. La concentration du contaminant excède les normes plus de trois (3) fois pour une durée n'excédant pas huit (8) heures/jour

Les résultats de l'évaluation du niveau de sévérité de la toxicité et de la probabilité d'exposition sont introduits au sein d'une matrice qui permet de catégoriser le niveau de risque de chaque contaminant. La matrice de risques comprend cinq (5) niveaux de risque définis par le code suivant, vert foncé (nul), vert pâle (faible), jaune (moyen), orange (élevé) et rouge (critique). La matrice de risques illustrée à la figure 2.6 est utilisée pour effectuer l'analyse des risques pour chaque contaminant associé aux activités de tir réel.

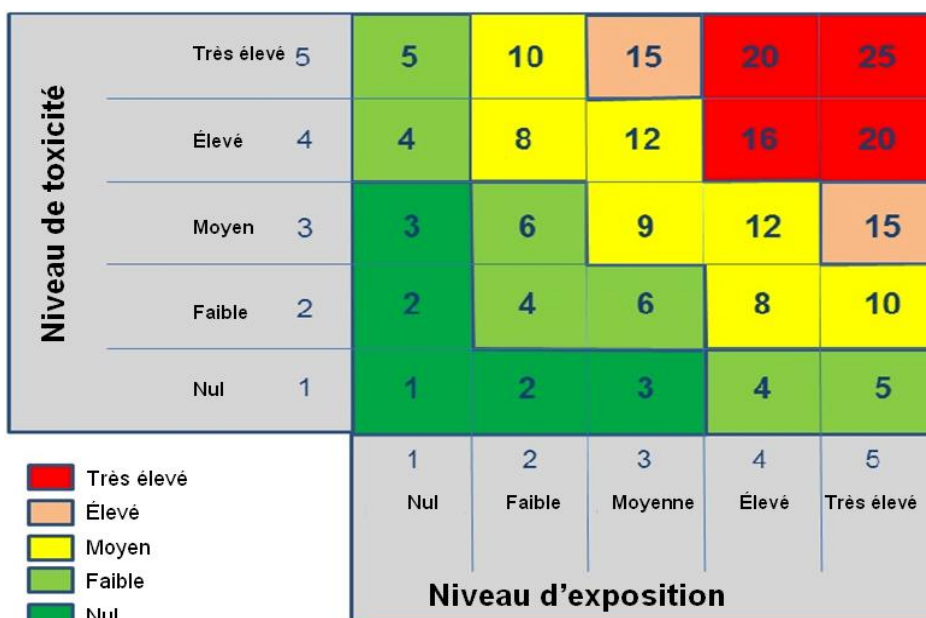


Figure 2.6 : Matrice des risques (inspirée de Transports Canada, 2010)

2.3.2 Les caractéristiques de la nitroglycérine

La nitroglycérine est un agent propulsif qui est contenu dans la douille du projectile. La nitroglycérine sert d'agent propulsif pour projeter la balle. Comme stipulé à la section 2.1.1, la nitroglycérine est retrouvée à l'avant des buttes de tir jusqu'à une distance de douze mètres. Cette substance est répertoriée à l'annexe 7, partie 1, du *Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (2005). Il n'y a pas de norme fédérale canadienne pour la nitroglycérine concernant la qualité du sol et des eaux souterraines et de surface, mais le Conseil national de recherches Canada (CNRC) a émis des recommandations pour les produits énergétiques, dont la nitroglycérine. La recommandation préliminaire de la qualité des sols en fonction de la santé humaine, toutes voies d'exposition considérées, est de 2 500 mg/kg de sol. Concernant la qualité des eaux souterraines en tant que source d'eau potable pour la santé humaine, la recommandation est de 0,28 mg/L (Robidoux et autres, 2006).

Selon le *United States Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine* (ci-après le USACHPPM), la nitroglycérine est un composé utilisé dans la préparation des agents propulsifs, des explosifs et comme produit pharmaceutique (USACHPPM, 2007). La nitroglycérine est très soluble dans l'eau avec un taux de solubilité entre 1,4 et 1,5 g/L à 20 degrés Celsius (Bordeleau, 2012).

Chaque fois qu'un projectile est tiré, la mise à feu projette une certaine quantité de nitroglycérine qui varie selon le type d'arme utilisé (Brochu et autres, 2011a). La partie en jaune du tableau 2.3 de Brochu et autres (2011a) présente la quantité et le pourcentage de nitroglycérine pour chaque type de projectiles d'armes légères.

Tableau 2.3 : Quantité de nitroglycérine contenue dans les projectiles (inspiré de : Brochu et autres, 2011a, p. 38)

Calibre	Type d'arme	Type de projectile	Quantité de nitroglycérine dans le projectile	
			mg	%
9 mm	Pistolet Browning	MK1, balle	0.74	1.39
	Pistolet Sig Sauer	Frangible	0.95	1.97
		Luger 115 FMJ balle	2.03	3.90
7.62 mm	Mitrailleuse C6	C21/C19, 4BIT	0.98	0.30
5.56 mm	Fusil d'assaut C7	Frangible	1.06	0.62
		C77, balle	0.30	0.19
	Fusil automatique C8	C77, balle	0.07	0.04
	Mitraillette légère C9	C77/C78, 4 BIT	0.05	0.03
.338 cal	Fusil de longue portée Timberwolf	Match B406	0.03	0.001

Il est important de noter que la nitroglycérine s'accumule lentement dans l'environnement. La concentration de nitroglycérine retrouvée au sol varie considérablement selon l'usage de chacun des champs de tir d'armes légères. Ainsi, la plus haute concentration de nitroglycérine fut observée par Ampleman et autres (2009) sur la base de Meaford au champ de tir d'armes légères surnommé Gully. La concentration y était de 138,3 mg/kg. Par contre, les concentrations maximales de nitroglycérine, retrouvées dans la majorité des champs de tir d'armes légères, sont beaucoup moins élevées. Le tableau 2.4 présente les concentrations maximales de nitroglycérine retrouvées dans les champs de tir d'armes légères de quatre (4) bases militaires des Forces canadiennes.

Tableau 2.4 : Concentrations maximales de nitroglycérine observées dans les champs de tir
(compilé de Ampleman et autres, 2009, Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004)

Nom de l'installation	Nitroglycérine (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Petawawa	Non détecté
Base des Forces canadiennes Valcartier	25,3
Base des Forces canadiennes Wainwright	52,8
Base des Forces canadiennes Meaford	138.3

Les mécanismes de transport du contaminant s'effectuent par voie aérienne ou par voie aqueuse. En ce qui a trait à la voie aérienne, les projectiles projettent des résidus de nitroglycérine sous forme particulaire lors de la mise à feu de la charge explosive (Brochu et autres, 2011a). Lors des expériences menées par Brochu et autres (2011a), les particules de nitroglycérine ont été projetées au sol jusqu'à 12 mètres à l'avant de la position du canon de l'arme à feu.

En ce qui a trait à la migration dans le sol vers l'eau souterraine, Bordeleau (2012) a observé sur des échantillons provenant d'anciens champs de tir fermés depuis plus de 35 ans que la nitroglycérine a été détectée jusqu'à une profondeur d'un mètre. La présence de 75 % de la nitroglycérine se situe à l'intérieur d'une zone de profondeur de 5 cm et 99 % du contaminant se situe dans les premiers 20 cm de profondeur (Bordeleau, 2012).

Aucune étude ne traite de la migration du contaminant avec les sédiments emportés par le vent ou par les eaux pluviales. Cependant, il est probable que la nitroglycérine puisse migrer sur de longues distances s'il y a de l'érosion et peu de végétation à l'avant de la butte de tir. La figure 2.7 illustre l'avant des positions de tir du champ de tir Myriam Bédard de la base des Forces canadiennes de Valcartier. Le sol sablonneux et le peu de végétation à l'avant des positions de tir favorisent l'érosion et facilitent la migration des contaminants à l'extérieur du champ de tir.



Figure 2. 7 Positions de tir du champ de tir Myriam Bédard (tiré de Thiboutot et autres, 2008, p. 26)

Sur les champs de tir d'armes légères, la nitroglycérine est très stable dans le sol et ne migre pas vers l'eau souterraine parce que celle-ci est enrobée de nitrocellulose qui est très peu soluble et qui prévient la dissolution de la nitroglycérine (Thiboutot et autres, 2012). Sur l'avant des monticules des buttes de tir il y a généralement peu d'érosion. La végétation est présente sur un grand nombre des champs de tir et celle-ci prévient la migration des particules de nitroglycérine par les eaux pluviales et le vent. Par contre, les champs de tir d'armes légères qui n'ont pas de butte de tir avec une surface gazonnée peuvent être sujets à l'érosion et possiblement à la migration des particules de nitroglycérine sur une plus grande distance.

2.3.3L'analyse des risques de la nitroglycérine

La nitroglycérine peut causer des effets négatifs sur la santé humaine lorsqu'il y a une intoxication découlant d'une interaction par inhalation, ingestion, contacts avec la peau et les yeux. Une intoxication sévère peut perturber le système cardio-vasculaire, le sang, la peau et le système nerveux (*Centre for Disease Control and Prevention, 2005*). Par contre, les effets toxiques par ingestion et par contact avec la peau de la nitroglycérine sont considérés comme faibles par l'*United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2010)*.

La nitroglycérine peut avoir des effets nocifs sur la faune et l'habitat du poisson. Pour la faune, l'USACHPPM (2007) a observé que l'ingestion de nitroglycérine à faible dosage ne cause pas d'effet sur la santé. Ils ont aussi constaté qu'une exposition à dosages moyens et forts sur une période de deux (2) ans avait nuit la santé des rats avec des pertes de poids et des effets négatifs sur les reins et le foie. Une étude similaire, mais de courte durée fut effectuée avec des oiseaux, mais aucun effet néfaste ne fut observé. En ce qui a trait aux reptiles et amphibiens, aucune étude ne traite des risques toxicologiques associés à la nitroglycérine (USACHPPM, 2007). Pour ce qui est de l'habitat du poisson, il y a peu de documentation sur le sujet, cependant l'organisation de l'*International Chemical Safety Cards* (ICSC) aux États-Unis considère que la nitroglycérine est nocive pour les organismes aquatiques (ICSC, 2005a).

Le niveau de toxicité pour la nitroglycérine est donc considéré comme faible pour la santé humaine, faible pour la faune et élevé pour l'habitat du poisson.

Pour les soldats, l'exposition potentielle à la nitroglycérine peut se produire par l'inhalation et par l'ingestion de particules lors des pratiques de tir réel ainsi que par contact avec la peau et les yeux lorsque les soldats sont allongés sur le sol. L'ingestion de la nitroglycérine par transfert est probable si le soldat ne se lave pas les mains avant de manipuler et de consommer de la nourriture. Cependant, selon le critère de qualité des sols pour la santé humaine de 2500 mg/kg de nitroglycérine de Robidoux et autres (2006), le risque d'exposition pour les soldats est considéré comme faible puisque la concentration de nitroglycérine la plus élevée observée dans les sols des buttes de tir n'est que de 138,3 mg/kg (Ampleman et autres, 2009).

Pour les instructeurs de tir, l'exposition au contaminant peut se produire par inhalation. Cependant, l'exposition est considérée comme faible, car l'instructeur de tir est positionné à l'arrière des tireurs tandis que les particules de nitroglycérine sont projetées vers la cible à l'avant du tireur.

Pour les travailleurs assignés aux travaux de réhabilitation des buttes de tir ou à la coupe du gazon, l'inhalation et l'ingestion du contaminant sont probables. La machinerie peut soulever de la poussière. Cependant, l'exposition est peu fréquente et de très courte durée et est donc jugée comme faible.

Pour le public, le risque d'exposition à la nitroglycérine est considéré comme nul puisque la nitroglycérine n'est pas mobile et reste donc au même endroit pour une longue période (Thiboutot et autres, 2012).

L'interaction entre la faune et la nitroglycérine est possible par ingestion et contact avec la peau. Cependant, les buttes de tir offrent un piètre habitat naturel pour la faune en raison d'une forte présence humaine, du bruit assourdissant et du peu de nourriture. Le risque d'interaction, entre la faune et les sols contaminés, est faible puisque la majorité des concentrations de nitroglycérine observée dans les champs de tir d'armes légères est inférieure au critère de qualité des sols pour les fonctions écologiques de 65 mg/kg établis par Robidoux et autres (2006). Le tableau 2.5 tiré de Diaz et autres (2008) supporte cette observation. Le niveau d'exposition à la nitroglycérine pour la faune est évalué comme étant faible.

Tableau 2.5 : Concentration de nitroglycérine, Range 8, Base des Forces canadiennes de Wainwright (tiré de Diaz et autres, 2008, p. 38 (traduction libre))

Échantillons à la butte de tir	NG mg/kg
FP ¹ 100 m T ² 1-4	15.5
FP100 m T 5-8	19.5
FP 100 m T 9-12	39.7
FP 100 m T 9-12 DUP	29.2
FP 100 m T 13-16	52.8
FP 100 m T 17-20	49.0
FP 100 m T 21-24	19.7
FP 200 m T 1-4	32.9
FP 200 m T 5-8	45.4
FP 200 m T 9-12	24.8
FP 200 m T 9-12 DUP	36.6
FP 200 m T 13-16	13.9
FP 200 m T 17-20	8.92
FP 200 m T 21-24	10.1

Légende:
 FP : Position de tir
 T : Cible

La nitroglycérine est toxique pour les poissons. La dose létale médiane (DL50) pour les truites arc-en-ciel est 1,90 mg/L (US EPA, 2010). Cependant, puisque la nitroglycérine est enrobée de nitrocellulose, elle n'est pas mobile et elle tend à demeurer au même endroit pendant très longtemps (Thiboutot et autres, 2012). En ce qui a trait à la nitrocellulose, elle est considérée comme peu toxique par l'US EPA (2012a). Le risque d'interaction entre l'habitat du poisson et la nitroglycérine est donc considéré comme nul.

Le tableau 2.6 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition en ce qui a trait à la nitroglycérine et la figure 2.8 illustre ces résultats dans la matrice de risque pour la nitroglycérine.

Tableau 2.6 : Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour la nitroglycérine.

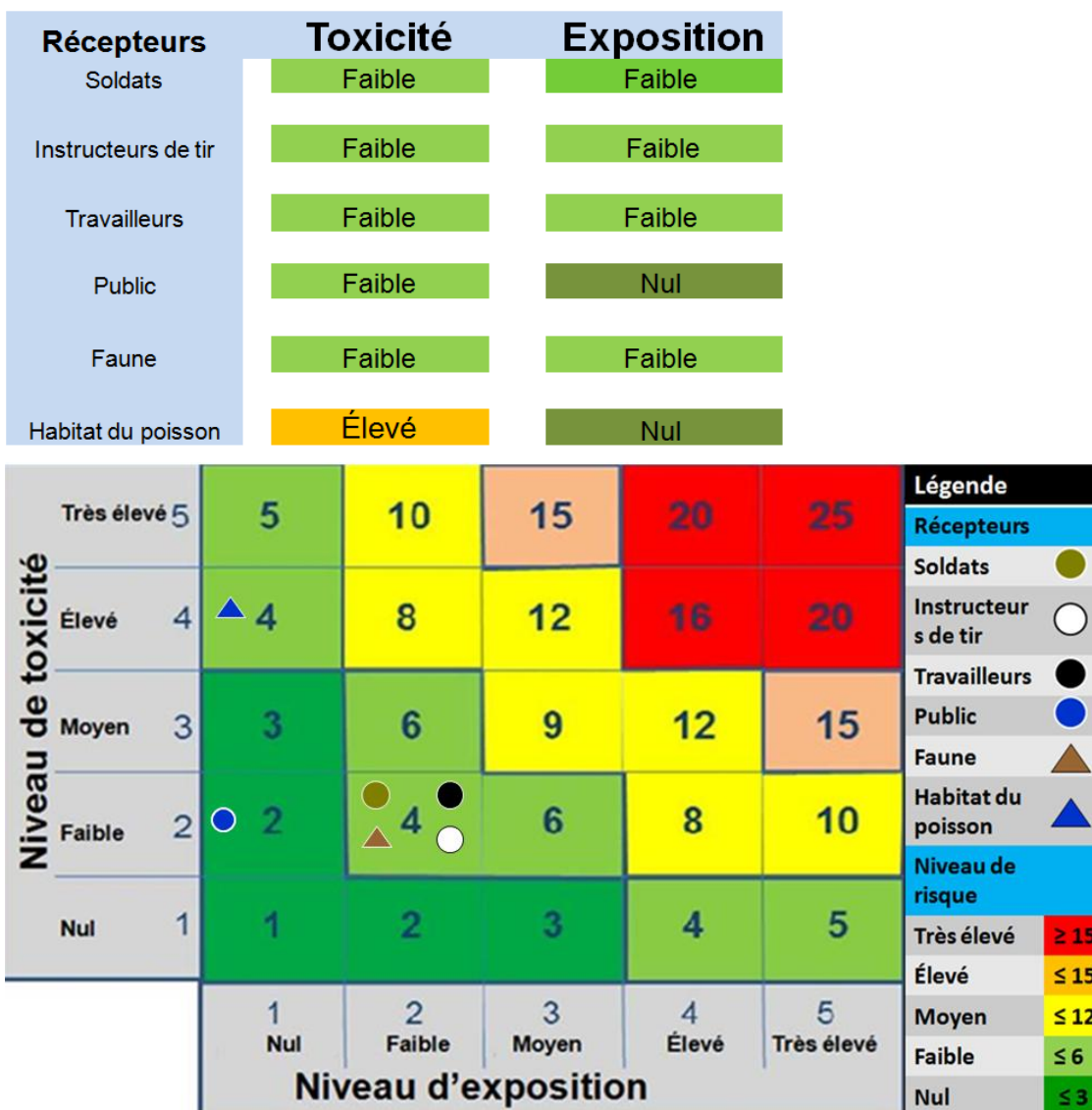


Figure 2.8 : Matrice des risques pour la nitroglycérine (Inspirée de Transports Canada, 2010)

Le niveau de risque de la nitroglycérine sur le public est considéré comme nul tandis que pour les autres récepteurs le niveau de risque est faible. Le niveau de risque moyen (somme du niveau de risque de chacun des récepteurs divisé par le nombre de récepteurs) est faible avec une moyenne de risque de 3,67.

2.3.4 Les caractéristiques du 2,4 DNT

Tout comme la nitroglycérine, le 2,4 DNT est un agent propulsif qui est contenu à l'intérieur de la douille du projectile. Chaque projectile tiré introduit ce contaminant à l'avant des tireurs sur la butte de tir. Cet agent propulsif est répertorié à l'annexe 7 de la partie 2 du *Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses* (2005) de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*.

La solubilité du 2,4 DNT est modérée avec un taux de dissolution de 0,30 g/L (US EPA, 2008a). Lors de la mise à feu du projectile, le 2,4 DNT est éjecté sous forme de gaz et de particules. Sous forme gazeuse, des concentrations à la position de tir de 6×10^{-6} mg/m³ furent détectées lors de tirs effectués avec la mitrailleuse à usage multiple (Brochu et autres, 2011a). Quant aux particules, elles sont projetées à l'avant de la butte de tir. La concentration sur le sol de 2,4 DNT la plus élevée observée sur le terrain à l'avant d'une butte de tir est de 2 mg/kg selon Thiboutot et autres, 2012.

Le tableau 2.7 indique les concentrations maximales sur le sol de 2,4 DNT retrouvées dans les champs de tir d'armes légères de trois (3) bases militaires des Forces canadiennes. Il n'existe pas de critère du CCME pour le 2,4 DNT concernant la qualité de l'environnement, cependant le Conseil national de recherches Canada a défini des recommandations de 11 mg/kg pour les fonctions écologiques, de 0,14 mg/kg pour la santé humaine au niveau de la qualité des sols et de 0,0007 mg/L pour la qualité des eaux souterraines en tant que source d'eau potable pour la santé humaine (Robidoux et autres, 2006).

Tableau 2.7 : Concentrations maximales de 2,4 DNT observées dans les champs de tir (compilé de Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004)

Nom de l'installation	2,4 DNT (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Petawawa	2,3
Base des Forces canadiennes Valcartier	0,59
Base des Forces canadiennes Wainwright	1,2

Le 2,4 DNT, dans son état original, se dégrade rapidement dans l'environnement. La demi-vie du contaminant dans le sol est de 25 jours et de 2,7 à 9,6 heures dans l'eau de surface selon la photolyse du soleil (US EPA, 2008a).

Tout comme pour la nitroglycérine, les particules au sol de 2,4 DNT sont enrobées de nitrocellulose qui empêche la dégradation et la dissolution du contaminant. Pour cette raison, les particules de

2,4 DNT demeurent à la surface du sol et s'accumulent au fil des années avec l'utilisation du champ de tir (Thiboutot et autres, 2012).

2.3.5 L'analyse des risques du 2,4 DNT

L'exposition au 2,4 DNT peut avoir des effets néfastes pour l'habitat aquatique, la faune et la santé humaine. L'ICSC (2005b) considère le 2,4 DNT comme nocif pour les organismes aquatiques. Pour la faune, des études menées sur la toxicité du contaminant sur les animaux ont démontré que l'exposition peut causer des troubles aux systèmes sanguin, neurologique, reproducteur et peut aussi avoir des effets néfastes sur les reins (US EPA, 2008a). Les effets néfastes du contaminant sont similaires pour la santé humaine, car le 2,4 DNT peut perturber le système cardio-vasculaire, le sang, la peau et le système nerveux (*Centre for Disease Control and Prevention*, 2005). Selon l'US EPA, le 2,4 DNT est considéré comme un agent cancérigène potentiel (US EPA, 2008a). La dose minimale orale ayant un effet indésirable observé (DMEIO) pour le 2,4 DNT a été observée à une concentration de 1,5 mg/kg/par jour (US EPA, 2012b). Le contaminant peut s'adsorber facilement par inhalation, par voie orale et par le contact avec la peau (US EPA, 2012c).

Le niveau de toxicité pour le 2,4 DNT est donc considéré comme élevé pour la santé humaine, la faune et l'habitat du poisson. Le degré d'exposition au 2,4 DNT varie selon les récepteurs.

Les soldats peuvent être exposés au contaminant par l'ingestion accidentelle, l'inhalation et les contacts avec la peau. L'ingestion du contaminant est probable puisque les concentrations retrouvées sur le sol peuvent atteindre jusqu'à 2 mg/kg (Thiboutot et autres, 2012). Cette concentration dépasse quelque peu la concentration établie par l'US EPA (2012c) pour la norme résidentielle qui est de 1,6 mg/kg. Cependant, les rapports de Ampleman et autres (2008), Brochu et autres (2009) et Diaz et autres (2008) démontrent que la concentration moyenne de 2,4 DNT de 62 échantillons de sol provenant de trois bases militaires des Forces canadiennes est de 0,62 mg/kg. Cette concentration moyenne est sous la concentration établie par l'US EPA (2012c). En ce qui a trait à la qualité de l'air, Brochu et autres (2011a) ont mesuré des concentrations de 6×10^{-6} mg/m³, ce qui est très inférieur aux recommandations d'exposition de *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) (2011) soit de 1,5 mg/m³ sur une période de 10 heures. Puisque les concentrations de 2,4 DNT sur le sol ont dépassé la norme de 1,6 mg/kg, le niveau d'exposition est évalué à moyen pour les soldats dû au potentiel d'ingestion.

Pour les instructeurs de tir, l'exposition au contaminant par ingestion est improbable puisque les instructeurs n'ont pas à s'allonger sur le sol lors des exercices de tir réel. Cependant, l'exposition par inhalation du contaminant est probable puisque des concentrations de 6×10^{-6} mg/m³ ont été

mesurées par Brochu et autres (2011a). Par contre, ces concentrations sont faibles et posent peu de risques. Le niveau d'exposition pour les instructeurs est évalué à faible.

Pour les travailleurs assignés aux travaux de réhabilitation des buttes de tir ou à la coupe du gazon, l'exposition au contaminant est improbable ou de très courte durée. Les buttes de tir requièrent généralement très peu d'entretien et les travailleurs utilisent de la machinerie pour accomplir leurs travaux et donc, ont peu de contact avec le sol. Le niveau d'exposition pour les travailleurs est évalué à faible.

Pour le public, le risque d'exposition au 2,4 DNT est considéré comme nul puisque le 2,4 DNT demeure à la surface du sol et ne migre pas vers les eaux souterraines (Thiboutot et autres, 2012).

L'interaction entre la faune et le 2,4 DNT est possible par ingestion et contact avec la peau. Le risque d'exposition est considéré comme faible puisque la concentration recommandée pour assurer la qualité des sols pour l'écologie est de 11 mg/kg (Robidoux et autres, 2006) et que la plus haute concentration observée dans les sols par Brochu et autres (2009) est de 2,3 mg/kg. Le niveau d'exposition au 2,4 DNT pour la faune est donc évalué à faible.

Pour l'habitat du poisson, il y a peu de risque d'exposition, car le 2,4 DNT est peu mobile sur les champs de tir d'armes légères, car la nitrocellulose qui enrobe le contaminant est très stable dans l'environnement et prévient les processus de dissolution et de migration (Thiboutot et autres, 2012). Le niveau d'exposition pour l'habitat du poisson est considéré comme nul en raison du peu de mobilité du 2,4 DNT.

Le tableau 2.8 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition du 2,4 DNT et la figure 2.9 illustre ces résultats dans la matrice de risque.

Tableau 2.8 : Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le 2,4 DNT

Récepteurs	Toxicité	Exposition
Soldats	Élevé	Moyen
Instructeurs de tir	Élevé	Faible
Travailleurs	Élevé	Faible
Public	Élevé	Nul
Faune	Élevé	Faible
Habitat du poisson	Élevé	Nul

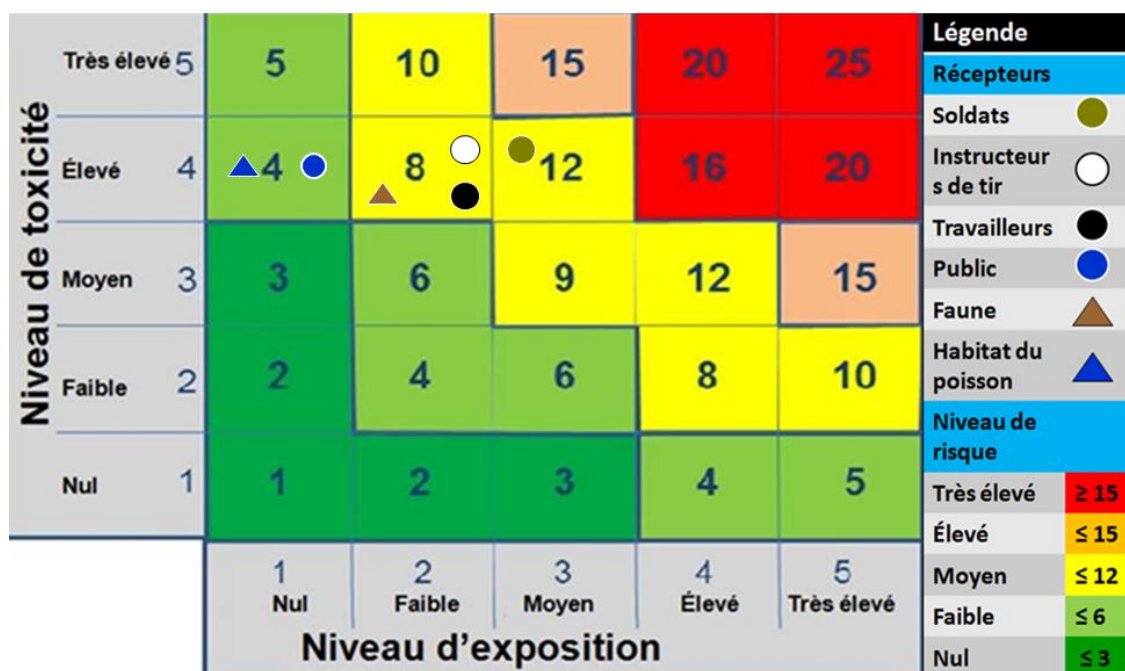


Figure 2.9 : Matrice des risques pour le 2,4 DNT (inspirée de Transports Canada, 2010)

Le niveau de risque du 2,4 DNT est considéré comme faible pour le public et pour l'habitat du poisson et moyen pour les autres récepteurs. Le récepteur le plus exposé au 2,4 DNT est le soldat. La moyenne de risque pour tous les récepteurs est de niveau moyen avec un niveau de risque de 7,33.

2.3.6 Les caractéristiques du plomb

Le plomb fait partie de la liste des substances toxiques de l'*annexe 1* de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (1999). Ce métal est considéré par Santé Canada comme hautement toxique et dangereux pour la santé humaine. Santé Canada estime qu'il faut réduire davantage l'exposition de la population canadienne au plomb (Santé Canada, 2013b).

Le plomb est le contaminant qui est retrouvé en plus grande quantité dans les champs de tir d'armes légères. Il est l'alliage principal utilisé dans la fabrication des balles. La balle d'un projectile contient entre 85,5 % à 93,1 % de plomb (Laporte-Saumure, 2010) et les Forces canadiennes tirent environ 25 millions de balles d'armes légères par année (Santé Canada, 2013a). Lorsque les balles pénètrent dans le sol, elles subissent une forte abrasion qui effrite la surface de la balle et génère de fines particules de plomb (Hardison et autres, 2004). Ces particules de plomb peuvent nuire à l'environnement, car elles sont facilement transportables par le vent, l'eau de surface et souterraine (ITRC, 2003).

Le plomb est généralement très peu mobile dans l'environnement. Il s'attache aux particules à la surface du sol et y demeure pour de longues périodes. Cependant, certains facteurs favorisent la mobilité du plomb. Ainsi, l'eau pluviale peut déplacer les particules de plomb dans les eaux de surface (ATSDR, 2007). De même, sous certaines conditions, le plomb peut aussi se déplacer dans le sol vers les eaux souterraines. La mobilité du plomb est influencée par le potentiel hydrogène (pH), le type de sol et la matière organique (CCME, 1999a). Le pH joue un rôle important en ce qui a trait à la mobilité du plomb dans l'environnement. Selon l'US EPA (2005) et l'ITRC (2005), un sol avec un pH entre 6,5 et 8,5 réduit la mobilité du plomb en favorisant la précipitation du plomb dissous. Shere (2010) a observé que la solubilité du plomb augmente lorsque le pH est ajusté d'un niveau 6 à un niveau 3. La texture, structure, et perméabilité et le type de sol influencent aussi la mobilité du plomb. Ainsi, un sol argileux possède une capacité d'absorption plus élevée qu'un sol sablonneux (Shere, 2010). Il en est de même pour les sols qui contiennent beaucoup de matière organique. La matière organique possède une capacité d'échange ou d'absorption d'ions élevés (Marseille et Denot, 2007) qui permet de retenir le plomb dissous à la matière solide du sol (Shere, 2010).

Le CCME estime qu'il y a un risque de contamination lorsque le plomb migre vers les eaux de surface et dans la nappe phréatique. La mobilité du plomb sous forme métallique est considérée comme faible, mais il peut être très soluble sous forme de chlorure de plomb ($PbCl_2$) ou de nitrate de plomb ($Pb(NO_3)_2$) (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS), 2006).

Santé Canada recommande un maximum de 0,010 mg/L de plomb dans l'eau potable (Santé Canada, 2012). La recommandation minimale pour la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique est de 1 µg/L, si la dureté de l'eau est inconnue (CCME, s.d.). Les recommandations canadiennes du CCME pour la qualité des sols sont énoncées dans le tableau 2.9.

Tableau 2.9 : Recommandations du CCME concernant le plomb (tiré de CCME, 1999a.)

Recommandations pour la qualité des sols environnement et santé humaine						
		Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Date
Nom Chimique	Groupe chimiques	Agricole	Résidentielle/parc	Commerciale	Industrielle	
Plomb	Inorganique	70	140	260	600	1999

Les Forces canadiennes appliquent le critère de qualité des sols du niveau industriel soit 600 mg/kg pour évaluer la qualité du sol des buttes d'arrêt dans les champs de tir d'armes légères. Le tableau 2.10 présente les concentrations maximales de plomb observées dans les buttes d'arrêt des champs de tir d'armes légères de cinq (5) bases militaires canadiennes.

Tableau 2.10 : Concentrations maximales de plomb observées dans les champs de tir (compilé de Ampleman et autres, 2009, Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004, Thibouteau et autres, 2003)

Nom de l'installation	Plomb (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Gagetown	21 500
Base des Forces canadiennes Meaford	6 140
Base des Forces canadiennes Petawawa	11 500
Base des Forces canadiennes Valcartier	50 000
Base des Forces canadiennes Wainwright	66 100

Les concentrations dépassent de 10 à 100 fois le critère industriel pour la qualité des sols du CCME. Le *Range 1* à la base des Forces canadiennes de Wainwright, avec une concentration de plomb de 66 100 mg/kg dans le sol de la butte d'arrêt, est l'un des champs de tir d'armes légères les plus contaminés au plomb des Forces canadiennes.

2.3.7 L'analyse des risques du plomb

La distribution du plomb dans les champs de tir d'armes légères se trouve à l'avant du tireur sur la butte de tir et dans la butte d'arrêt. Le plomb peut provoquer plusieurs effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. Le plomb est toxique pour les oiseaux, les poissons, les crustacés, les invertébrés, les plantes et les lombrics (Santé Canada, 2013b). Des effets néfastes sont aussi observés sur la faune (CCME, 1999a). Le CCME mentionne que les plantes accumulent du plomb. Les taux d'absorption varient d'une espèce à l'autre, mais aussi à l'intérieur de la même espèce (CCME, 1999a). Le plomb peut nuire au développement des racines, de la croissance, des capacités de photosynthèse et de transpiration des plantes (CCME, 1999a). Marois et autres (2004) mentionnent dans leur rapport que la concentration de plomb dans la biomasse (végétation) à l'intérieur des champs de tir d'armes légères excède jusqu'à 568 fois les niveaux de fond de la biomasse colligée à l'extérieur de ces champs de tir d'armes légères.

Les animaux sauvages risquent de s'empoisonner et subir divers troubles de comportements et physiques lorsqu'ils sont exposés au plomb. L'exposition se produit par l'inhalation et l'ingestion (CCME, 1999a). L'intoxication au plomb provoque chez les animaux des changements de comportements, des pertes de poids, des spasmes musculaires, des convulsions, des pertes d'équilibres, de la déshydratation (CCME, 1999a), et dans les cas extrêmes de contamination la mort de l'animal.

Le plomb nuit à la reproduction, peut provoquer le noircissement des nageoires et causer des difformités spinales chez les truites (CCME, 2008).

Le plomb est particulièrement nocif pour les fœtus, les bébés, les enfants de moins de six (6) ans et les mères porteuses (CCME, 1999b). L'exposition au plomb nuit principalement au système nerveux (CCME, 1999b) et peut causer la baisse du quotient intellectuel et causer des troubles de l'attention (Santé Canada, 2013b).

Le niveau de toxicité du plomb est donc considéré comme très élevé pour la santé humaine, la faune et l'habitat du poisson.

L'exposition au plomb peut se faire par l'inhalation, l'ingestion et le contact cutané (CCME, 1999b). Cependant, l'US EPA (2007) mentionne que le risque d'intoxication aux métaux par le contact cutané est faible puisque la peau procure une bonne protection contre l'absorption des métaux.

Les récepteurs peuvent être exposés au plomb lorsqu'ils respirent la poussière, mangent de la nourriture, boivent de l'eau ou touchent des matériaux qui sont contaminés par le plomb ou qui contiennent du plomb (ATSDR, 2007).

Pour les soldats qui s'exercent aux tirs sur les champs de tir d'armes légères, les principales sources de contamination proviennent des vapeurs émises lors de la mise à feu du projectile et des particules de plomb, dans l'air et sur le sol, lesquelles sont absorbées par l'inhalation et l'ingestion (*National Research Council*, 2012). Comme souligné précédemment, lorsque les balles ne sont pas recouvertes de cuivre, la zone de la butte de tir peut atteindre une teneur moyenne de plomb en suspension dans l'air jusqu'à $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ATSDR, 2007). Les niveaux observés diminuent à $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si la balle est recouverte de cuivre (ATSDR, 2007). Au Canada, la majorité des balles d'armes légères sont recouvertes de cuivre (Laporte-Saumure, 2010). La norme établie par OSHA aux États-Unis pour le plomb est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentration moyenne sur une période de huit (8) heures (OSHA, s.d.).

Les soldats sont aussi exposés aux particules de plomb qui se trouvent sur le sol de la butte d'arrêt, dans l'abri des marqueurs de cibles et sur les douilles qu'ils doivent ramasser sur le sol à la fin de l'entraînement. Ces particules de plomb peuvent être inhalées et ingérées accidentellement.

Puisque les balles canadiennes sont enrobées de cuivre (Laporte-Saumure, 2010) et que les concentrations de plomb dans l'air sont inférieures aux critères de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ établies par OSHA (s.d.) le niveau d'exposition au contaminant pour le soldat est donc considéré comme faible.

Le type d'exposition pour les instructeurs est principalement l'inhalation. Les instructeurs inhalent la même quantité de plomb que les soldats lors des exercices de tir. Cependant, ils passent jusqu'à 100 jours par année sur les champs de tir d'armes légères. Les recommandations d'OSHA (s.d.) pour une période d'exposition de huit (8) heures par jour, moyenne pondérée, sont de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations de plomb dans l'air à $8,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont bien au-dessous des normes établies d'OSHA. Pour ces raisons, le niveau d'exposition attribué pour les instructeurs est faible.

Lors des travaux exécutés sur les champs de tir d'armes légères, les travailleurs sont exposés au plomb par l'ingestion et l'inhalation. Les périodes d'exposition sont fréquentes, mais de courte durée. Le niveau d'exposition le plus élevé survient lors de l'exécution de travaux intrusifs dans la butte de tir et d'arrêt ce qui peut engendrer de la poussière. Ces travaux sont exécutés seulement une à deux fois par année. Le niveau d'exposition attribué aux travailleurs est faible puisque ceux-ci doivent porter de l'équipement de protection lors des travaux de réhabilitation de la butte d'arrêt.

Le public peut être exposé au plomb par l'inhalation de poussières contenant du plomb et par l'ingestion d'eaux souterraines non traitées. L'inhalation de poussières contenant du plomb est probable pour les champs de tir d'armes légères situés aux abords des agglomérations comme illustré à la figure 2.10.

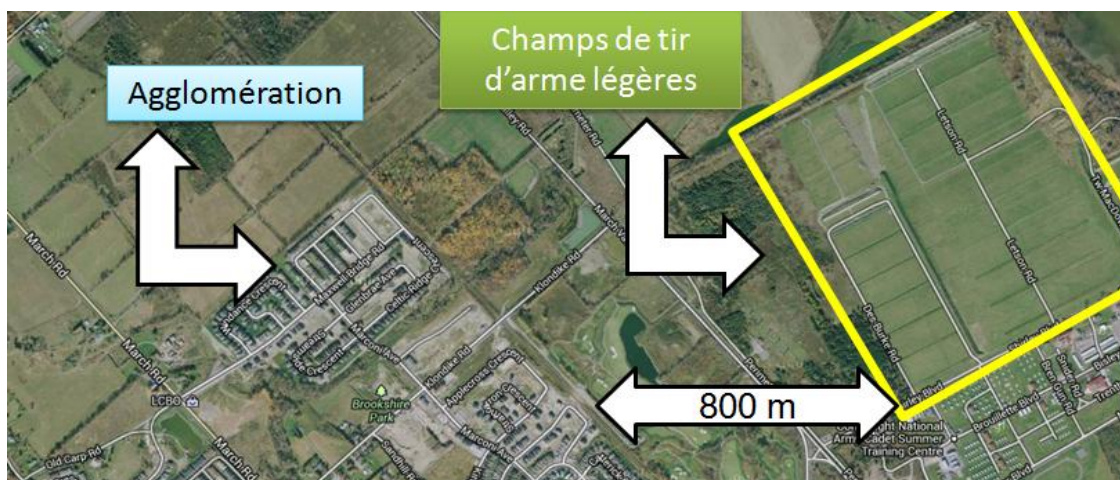


Figure 2. 10 : Champs de tir d'armes légères de Connaught, Ottawa (tiré de Google Map[®], s.d.a)

En ce qui a trait à l'ingestion d'eau souterraine contaminée avec le plomb, ce scénario est probable. Aux États-Unis, Heath et autres (1991), dans leur étude sur les champs de tir d'armes légères, reconnaissent que le plomb peut contaminer l'eau souterraine lorsque le pH du sol est inférieur à sept (7) et que le site est sablonneux. D'ailleurs, cette observation s'applique à l'un des champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes. Une concentration de 0,018 µg/L de plomb fut observée dans l'eau souterraine de la base des Forces canadiennes de Valcartier (Martel et autres, 2009a).

Une analyse sur Google Map[®] de la distance entre les champs de tir d'armes légères démontre que les champs de tir de certaines bases militaires sont très près des agglomérations. Par exemple à Farnham au Québec, il y a un champ de tir d'armes légères qui se trouve à environ de 250 mètres des résidences privées (figure 2.11).

Le niveau d'exposition attribué pour le public est élevé puisque plusieurs champs de tir d'armes légères sont situés à proximité d'agglomérations. Ces champs de tir peuvent contribuer à la propagation du plomb par la poussière dans l'air et par la contamination de l'eau souterraine qui est utilisée pour la consommation du public aux abords des installations militaires.



Figure 2.11 : Distance entre un des champs de tir d'armes légères de la base des Forces canadiennes de Farnham et une résidence privée (tiré de Google Map[®], s.d.b)

La faune est exposée au plomb principalement par l'inhalation de poussières et l'ingestion (CCME, 1999a). Tous les animaux aux abords des champs de tir sont sujets aux effets néfastes du plomb lorsque les concentrations de plomb dans le sol dépassent les critères établis par le CCME. Même si les champs de tir d'armes légères ne représentent pas un habitat favorable pour la faune, ils sont tout de même accessibles. Il se peut, dans certaines situations, que des animaux y habitent et s'y nourrissent. Les petits animaux et les oiseaux qui se nourrissent de vers de terre, d'insectes et de graines peuvent accidentellement ingérer des particules de plomb se trouvant à la surface du sol (*National Shooting Sports Foundation (NSSF), 1997*). Les herbivores sont aussi sujets à l'ingestion du plomb lorsqu'ils se nourrissent de plantes. Ampleman et autres (2008) ont observé, lors de la caractérisation de la Base des Forces canadiennes de Shilo, que des chevreuils se nourrissaient avec la végétation de la butte d'arrêt. L'échantillon de la biomasse de la butte d'arrêt contenait une concentration de 661 mg/kg de plomb (Ampleman et autres, 2008). La consommation de ces plantes contaminées au plomb peut provoquer chez les animaux des troubles digestifs, neurologiques, de comportements et parfois la mort de l'animal (Cacard, 2004). Pour ces raisons, le niveau d'exposition pour la faune est élevé.

L'habitat du poisson peut être exposé au plomb par l'ingestion et le contact avec la peau. Le plomb peut entrer en contact avec les cours d'eau par les particules de plomb contenues dans la poussière portée par de forts vents, par les sédiments emportés avec le ruissellement des eaux pluviales et par l'eau souterraine contenant du plomb dissous. L'US EPA considère que le ruissellement des eaux pluviales est l'une des sources principales de migration du plomb dissous et de fragments à l'extérieur des champs de tir d'armes légères (US EPA, 2005). D'ailleurs, Heath et autres (1991) ont observé des concentrations élevées de plomb jusqu'à 250 pieds à l'arrière des buttes d'arrêt. Ils ont attribué cette migration du plomb aux eaux de ruissellement. Cependant, l'échantillonnage de l'eau de surface de cinq (5) bases militaires affiche des concentrations toutes inférieures au critère du CCME (s.d.) de 1 µg/L (Martel et Bordeleau, 2007, Martel et autres, 2008a, Martel et autres, 2008b, Martel et autres, 2009a, Martel et autres, 2009b). Le risque d'exposition pour l'habitat du poisson est faible.

Le tableau 2.11 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition au plomb et la figure 2.12 expose les résultats dans la matrice de risque.

Tableau 2.11: Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le plomb

Récepteurs	Toxicité	Exposition
Soldats	Très élevé	Faible
Instructeurs de tir	Très élevé	Faible
Travailleurs	Très élevé	Faible
Public	Très élevé	Élevé
Faune	Très élevé	Élevé
Habitat du poisson	Très élevé	Faible

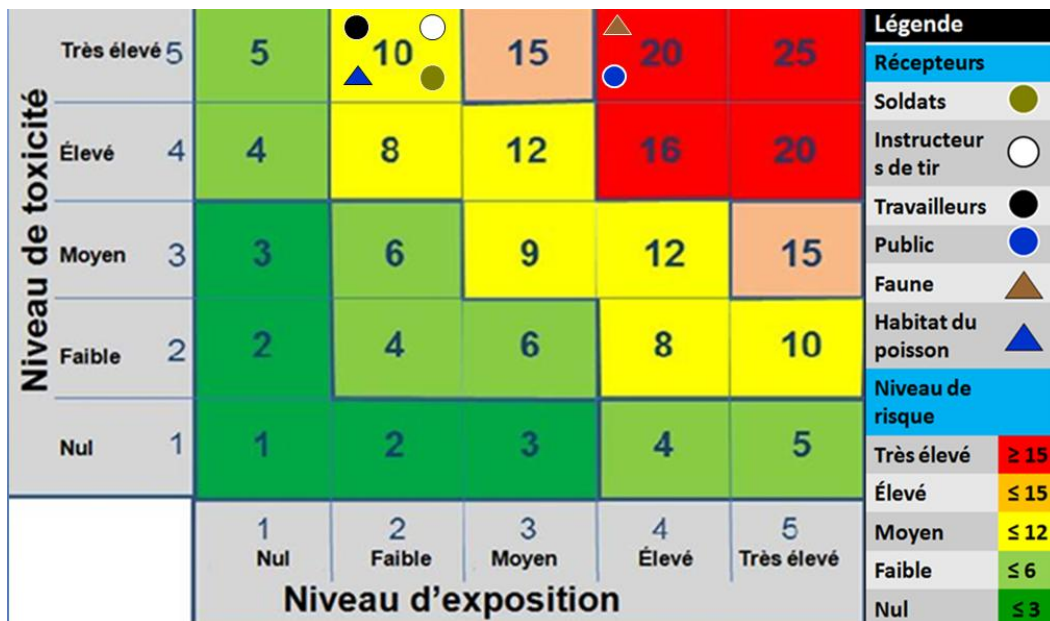


Figure 2.12 : Matrice des risques pour le plomb (inspirée de Transports Canada, 2010)

Le niveau de risque pour le plomb est élevé pour la faune et le public et moyen pour les autres récepteurs. La moyenne de risque pour tous les récepteurs est élevée avec un niveau de risque de 13,33.

2.3.8 Les caractéristiques de l'antimoine

L'antimoine est un métal utilisé comme alliage dans le projectile pour durcir la balle (Laporte-Saumure, 2010). La quantité d'antimoine contenue dans les projectiles varie selon chaque type de projectile. Ainsi, pour les deux (2) projectiles les plus utilisés soient le type 5.56 mm C77/Ball et le type 7.62 mm WC846, ils contiennent respectivement 1,97 % et 9,5 % d'antimoine (Laporte-Saumure, 2010). Tout comme le plomb, l'antimoine est introduit dans l'environnement lorsque la balle pénètre la butte d'arrêt.

L'antimoine est un métal que l'on retrouve peu dans l'environnement (Santé Canada, 1997) et ses sources se retrouvent principalement dans la roche, le sol et les sédiments. Les niveaux d'antimoine retrouvés dans l'air, l'eau et le sol sont très faibles sauf dans les cas où il y a de l'exploration minière (ATSDR, 1992). L'antimoine récupéré dans l'environnement est rarement pur. Il est retrouvé généralement sous forme de sulfures et de chlorures trivalents et pentavalents (Santé Canada, 1997). Les niveaux de fond pour l'antimoine retrouvés dans la croûte terrestre se situent entre 0,2 à 0,5 mg/kg (Santé Canada, 1997). L'antimoine sous forme inorganique est

insoluble, par contre, il est soluble sous certaines formes de sels d'antimoine tels le pentachlorure, le sulfate, le tartrate de potassium et le trichlorure (Santé Canada, 1997).

La concentration maximale acceptable de l'eau potable pour l'antimoine est de 0,006 mg/L (Santé Canada, 2012). Il n'y a pas de recommandation du CCME pour l'antimoine en ce qui a trait à la qualité des eaux et à la protection de la vie aquatique. Le tableau 2.12 présente les recommandations canadiennes du CCME pour la qualité des sols.

Tableau 2.12 : Recommandations du CCME concernant l'antimoine (tiré de CCME, s.d.)

Recommandations pour la qualité des sols environnement et santé humaine						
		(mg/kg poids sec)	(mg/kg poids sec)	(mg/kg poids sec)	(mg/kg poids sec)	Date
Nom Chimique	Groupe chimiques	Agricole	Résidentielle/parc	Commerciale	Industrielle	
Antimoine	Inorganique	20	20	40	40	1991

Le critère de sol appliqué pour l'antimoine par les Forces canadiennes est le critère industriel de 40 mg/kg. Plusieurs champs de tir d'armes légères dépassent ce critère. Les résultats d'échantillonnage pour les concentrations maximales d'antimoine pour cinq (5) bases militaires canadiennes sont illustrés au tableau 2.13.

Tableau 2. 13 : Concentrations maximales d'antimoine observées dans les champs de tir (tiré de Ampleman et autres, 2009, Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004, Thibouteau et autres, 2003)

Nom de l'installation	Antimoine (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Gagetown	324
Base des Forces canadiennes Meaford	69,6
Base des Forces canadiennes Petawawa	152
Base des Forces canadiennes Valcartier	910
Base des Forces canadiennes Wainwright	932

Les concentrations d'antimoine dépassent jusqu'à 23 fois le critère de concentration du CCME. Le champ de tir avec la concentration la plus élevée est le *Range 1*, situé à la base de Forces canadiennes de Wainwright, avec 932 mg/kg.

2.3.9 L'analyse des risques de l'antimoine

L'antimoine est le troisième métal en importance que l'on retrouve dans les sols des buttes de tir et des buttes d'arrêt.

La toxicité de l'antimoine peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine et les animaux (Santé Canada, 1997).

L'antimoine peut provoquer divers effets chez les animaux. Les symptômes observés lors d'études sur les animaux sont : la dégénérescence du cœur, du foie, de la rate et des reins, la réduction de la croissance et la mort lorsque l'intoxication à l'antimoine est trop élevée (Santé Canada, 1997).

En ce qui a trait aux effets toxicologiques de l'antimoine sur l'habitat du poisson, Yang et autres (2010) considèrent que l'antimoine peut nuire à la vie aquatique. Ils reconnaissent cependant qu'il y a peu de données qui ont été relatées à ce jour sur les effets néfastes de l'antimoine sur la vie aquatique. D'ailleurs, il n'y a aucun critère sur l'antimoine au Canada ou aux États-Unis pour la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique.

Selon Santé Canada (2012), chez l'humain, une intoxication aiguë à l'antimoine peut provoquer des douleurs abdominales, des vomissements, la diarrhée, la déshydratation, des douleurs musculaires, un état de choc, une hémoglobinurie, une anurie et une urémie. Les cas extrêmes d'intoxication à l'antimoine ont causé des convulsions, des symptômes myocardiques et la nécrose du foie (Santé Canada, 1997). Une exposition à long terme à l'antimoine peut nuire au cœur, aux poumons et possiblement être cancérigène (Santé Canada, 1997).

Le niveau de toxicité de l'antimoine est donc considéré comme moyen pour la santé humaine et la faune et faible pour l'habitat du poisson.

L'exposition à l'antimoine se fait par inhalation, ingestion et contact avec la peau (ATSDR, 1992). Les soldats peuvent inhaler de l'antimoine sur la butte de tir lors de la détonation du projectile (ATSDR, 1992). Par contre, selon l'ATSDR (1992), ces émissions sont sans effets sur les soldats lorsqu'ils sont dans les champs de tir d'armes légères extérieurs. La probabilité d'ingestion accidentelle et d'intoxication avec de l'antimoine est très faible. Tout d'abord, les particules de contaminants éjectées du fusil sont projetées à l'avant de la position de tir (Brochu et autres, 2011a). La concentration moyenne d'antimoine, observée sur le sol des positions de tir, est inférieure aux recommandations du CCME pour la catégorie résidentielle. Par exemple, Diaz et autres (2008) ont observé des concentrations moyennes de 10,2 mg/kg d'antimoine sur les buttes

de tir des champs de tir d'armes légères du *Range 1* et *8* de la base des Forces canadiennes de Wainwright en Alberta.

Les contacts avec la peau et le sol sont négligeables et de courtes durées. Lors des séances de tir réel, les soldats ont très peu de régions du corps à découvert comme l'illustre la figure 2.13. Comme indiqué précédemment, la peau procure une bonne protection contre l'absorption cutanée des métaux (US EPA, 2007). Le niveau d'exposition pour les soldats est donc considéré comme faible.



Figure 2.13 : Un instructeur et des soldats canadiens en position de tir (Défense nationale, 2013d)

Le type d'exposition pour les instructeurs est principalement par inhalation. Cependant, comme les concentrations d'antimoine dans l'air sont considérées comme sans effet (ATSDR, 1992), le niveau d'exposition attribué aux instructeurs est faible.

Les travailleurs sont susceptibles d'entrer en contact avec de l'antimoine par ingestion, inhalation et contact avec la peau. Les périodes d'exposition sont fréquentes, mais de courte durée. Tout comme le plomb, l'exposition la plus probable survient lors de l'exécution de travaux intrusifs dans la butte d'arrêt ce qui engendre de la poussière. Le niveau d'exposition attribué aux travailleurs est moyen étant donné que les concentrations d'antimoine observées sur certains champs de tir d'armes légères (Valcartier, Wainwright) dépassent plus de 20 fois les critères des sols du CCME. Cependant les travaux de réhabilitations de la butte d'arrêt sont peu fréquents et les travailleurs doivent porter de l'équipement de protection lors des travaux de réhabilitation de la butte d'arrêt. Pour ces raisons le risque d'exposition est faible.

Le public est sujet à la contamination par l'antimoine par l'ingestion d'eau souterraine non traitée. Martel et autres (2009a) ont observé des concentrations d'antimoine de 35 µg/L dans l'eau souterraine à la base des Forces canadiennes de Valcartier dépassant le critère d'eau potable établi par presque six (6) fois. Parce qu'il y a des champs de tir d'armes légères aux abords d'agglomérations (Borden, Connaught, Farnham, Kingston, St-Bruno, Valcartier, Wainwright) et que l'antimoine a déjà été observé dans l'eau souterraine, le niveau d'exposition est considéré comme élevé.

La faune est exposée à l'antimoine par l'inhalation de poussière, l'ingestion et les contacts avec la peau. Le risque d'ingestion d'antimoine constitue le plus haut risque pour la faune. Tout comme le plomb, les petits animaux, les oiseaux et les herbivores peuvent ingérer accidentellement, lorsqu'ils se nourrissent, des particules d'antimoine qui se trouvent à la surface du sol ou de la biomasse. Ampleman et autres (2008) ont constaté que les chevreuils se nourrissaient avec la biomasse de la butte d'arrêt des champs d'armes légères de la base des Forces canadiennes de Shilo et que celle-ci démontrait une concentration d'antimoine de 19,6 mg/kg dans la biomasse. Le risque d'exposition augmente et est particulièrement élevé lorsque les animaux consomment de l'eau de surface en bordure des champs de tir d'armes légères puisque le critère de concentration maximale acceptable pour l'eau potable pour l'antimoine est faible avec une concentration de 0,006 mg/L. Par contre, la révision de tous les résultats des échantillons des rapports de recherche de Ampleman et autres (2008), Ampleman et autres (2009), Brochu et autres (2009), Diaz et autres (2008), Marois et autres (2004), Thibouteau et autres (2003), concernant les concentrations d'eau de surface de six (6) bases militaires canadiennes, rapporte seulement 1 échantillon dépassant le critère d'eau potable de 0,006 mg/L établi par Santé Canada (1997). Le niveau d'exposition pour la faune est donc faible.

En ce qui a trait à l'habitat du poisson, il n'y a pas de critères de qualité des eaux de surface établis par le CCME. Le critère de qualité de l'eau potable de 0,006 mg/L de Santé Canada (2012) a été utilisé. L'exposition à l'antimoine est considérée comme faible. Suite à l'échantillonnage des eaux de surface de six (6) bases militaires, seulement un échantillon dépassait le critère d'eau potable.

Le tableau 2.14 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition de l'antimoine et la figure 2.14 expose les résultats dans la matrice de risque.

Tableau 2.14 : Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour l'antimoine

Récepteurs	Toxicité	Exposition
Soldats	Moyen	Faible
Instructeurs de tir	Moyen	Faible
Travailleurs	Moyen	Faible
Public	Moyen	Faible
Faune	Moyen	Faible
Habitat du poisson	Faible	Faible

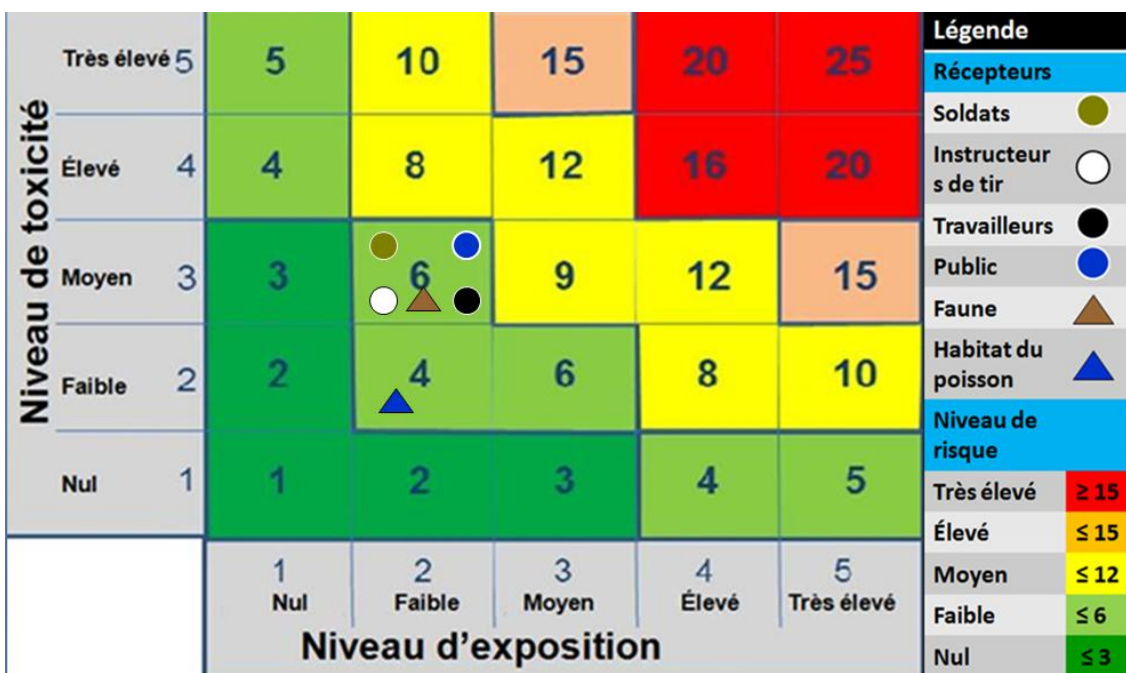


Figure 2.14 : Matrice des risques pour l'antimoine (inspirée de Transport Canada, 2010)

Le niveau de risque pour l'antimoine est faible pour tous les récepteurs. La moyenne de risque pour tous les récepteurs est de niveau moyen avec un total de 5.66.

2.3.10 Les caractéristiques du cuivre

Le cuivre est utilisé abondamment dans la construction des projectiles d'armes à feu. Il sert à recouvrir le noyau de la balle et représente environ 4.5 % du poids total de la balle (Laporte-Saumure, 2010).

Le cuivre est un métal très présent dans l'environnement et l'un des plus communs après le fer (Santé Canada, 1992). Le cuivre se retrouve en abondance dans la croûte terrestre. Le cuivre est un métal très peu mobile et tend à se fixer par adsorption aux particules du sol (CCME, 1999b). Par contre, le cuivre peut se lessiver si la quantité excède la capacité d'absorption du sol ou encore si le pH, la teneur en matière organique ou la texture du sol change (CCME 1997). Dans l'eau, le cuivre se retrouve sous forme de carbonate de cuivre ou de sels de cuivre (II), tels le chlorure, le nitrate et le sulfate (Santé Canada, 1992).

Les niveaux de fonds de cuivre varient selon les types de sol et se situent entre 2 et 100 mg/kg avec une concentration moyenne de 20 mg/kg (CCME, 1999b). Sous forme aqueuse, le cuivre se retrouve aussi dans les eaux de surface et souterraines. Les concentrations de cuivre dans l'eau naturelle dépassent rarement 0,005 mg/L (Santé Canada, 1992). La recommandation de Santé Canada (1992) concernant la concentration de cuivre dans l'eau potable est de $\leq 1,0$ mg/L. La recommandation de cuivre pour la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique est de 2 μ g/L si la dureté de l'eau est inconnue (CCME, s.d.). Le tableau 2.15 présente les recommandations canadiennes du CCME pour la qualité des sols, pour le cuivre.

Tableau 2.15 : Recommandations du CCME concernant le cuivre (tiré de CCME, 1999b)

Recommandations pour la qualité des sols environnement et santé humaine						
		Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Date
Nom Chimique	Groupe chimiques	Agricole	Résidentielle/parc	Commerciale	Industrielle	
Cuivre	Inorganique	63	63	91	91	1999

Les concentrations maximales de cuivre retrouvées dans les champs de tir d'armes légères au Canada dépassent largement le critère industriel de 91 mg/kg. Le tableau 2.16 présente les concentrations maximales de cuivre pour six (6) bases militaires canadiennes.

Tableau 2.16 : Concentrations maximales de cuivre observées dans les champs de tir (tiré de Ampleman et autres, 2008, Ampleman et autres, 2009, Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004, Thibouteau et autres, 2003)

Nom de l'installation	Cuivre (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Gagetown	1860
Base des Forces canadiennes Meaford	264
Base des Forces canadiennes Petawawa	971
Base des Forces canadiennes Shilo	4330
Base des Forces canadiennes Valcartier	1140
Base des Forces canadiennes Wainwright	21 900

La concentration de cuivre de 21 900 mg/kg dépasse de 240 fois la concentration de sol recommandée par le CCME. Cette concentration de cuivre fut observée au champ de tir d'armes légères *Range 8* de la Base des Forces canadienne de Wainwright.

2.3.11 L'analyse des risques du cuivre

Le cuivre est un élément essentiel qui est requis dans l'alimentation des plantes, des animaux, des enfants et des adultes (CCME, 1999a). Cependant, un apport trop important en cuivre peut s'avérer toxique pour l'environnement et la santé humaine.

Pour la faune, la toxicité du cuivre varie selon l'espèce. Plusieurs d'entre elles ont la capacité de s'adapter à des concentrations élevées de cuivre sans avoir d'effet néfaste (US EPA, 2008b). Cependant, certaines espèces, tels les ovins sont plus sensibles au cuivre parce que ce contaminant nuit à leur foie et dans un cas extrême, peut causer la mort (Ontario, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, 2010).

Les organismes aquatiques sont les plus touchés par le cuivre. Le cuivre s'attache aux branchies des invertébrés et des poissons et nuit au processus de régulation de la pression osmotique intérieure de l'eau et des sels minéraux avec le milieu extérieur (US EPA, 2008b). Le niveau de toxicité du cuivre dans l'eau dépend du pH, de l'alcalinité et du carbone organique dissous (US EPA, 2008b).

Pour les humains, les cas d'intoxication aiguë sont rares (Santé Canada, 1992). Par contre, une intoxication au cuivre peut causer des maux d'estomac, des problèmes intestinaux, de l'anémie et

des dommages au foie et aux reins (US EPA, s.d.). L'inhalation de poussières de cuivre peut aussi nuire à la santé humaine. Une concentration entre 0,075 et 0,12 mg/m³ peut provoquer la fièvre des vapeurs métalliques (ATSDR, 2004). L'Organisation mondiale de la santé juge que la dose orale fatale de différents sels de cuivre inorganique est de 200 mg/kg (CCME, 1997).

Le niveau de toxicité du cuivre est donc considéré comme moyen pour la santé humaine, faible pour la faune et élevé pour l'habitat du poisson.

Pour les soldats et les instructeurs, l'exposition au cuivre se fait par inhalation, ingestion et contact avec la peau (ATSDR, 2004). Le risque d'inhalation constitue le plus haut risque pour les soldats et les instructeurs. Lors de la mise à feu du projectile, les soldats et les instructeurs sont exposés aux vapeurs et aux particules de cuivre qui sont éjectées de la bouche du canon. Moran et Ott (2008) ont observé lors de tir réel d'armes légères que les concentrations de vapeurs de cuivre dépassaient parfois le critère maximum de 0,1 mg/m³ établi par l'*Occupational Safety and Health Administration (OSHA)* aux États-Unis (OSHA, 2012). OSHA considère qu'il peut y avoir des effets négatifs au-delà de cette concentration. La probabilité d'ingestion et de contact avec la peau est très faible, car les particules de contaminants éjectées du fusil sont projetées à l'avant de la position de tir. L'exposition pour les soldats et les instructeurs est au niveau moyen.

Les travailleurs peuvent être exposés au cuivre par ingestion, inhalation et les contacts avec la peau. L'exposition survient principalement lors de l'exécution de travaux qui occasionnent de la poussière qui peut être ingérée et respirée. Ces travaux majeurs sont très peu fréquents. Le niveau d'exposition attribué aux travailleurs pour le cuivre est moyen s'ils ne portent pas d'appareil respiratoire lors des travaux de réhabilitation.

Le public peut être exposé au cuivre par l'inhalation de poussières et la contamination de l'eau souterraine et de surface. Comme pour les autres métaux analysés précédemment, l'inhalation de poussières contenant du cuivre est probable pour les agglomérations situées à proximité des champs de tir d'armes légères. La consommation d'eau souterraine est peu probable, car les concentrations de cuivre observées sont très faibles. À titre d'exemple, Martel et autres (2009a) ont observé une concentration maximum de 16 µg/L sur la base des Forces canadienne de Valcartier et le critère de Santé Canada (2012) pour le cuivre est 1 mg/L. En ce qui a trait à l'eau de surface, elle ne pose pas de risque d'exposition puisqu'elle est traitée avant la consommation. Le niveau d'exposition pour le cuivre est considéré comme faible.

La faune est exposée au cuivre principalement par l'ingestion de cuivre lors de l'abreuvement ou lorsqu'elle se nourrit et ingère accidentellement des sols contaminés. La concentration maximale de cuivre observée dans l'eau de surface est de 20 µg/L à la base des Forces canadiennes de Wainwright (Diaz et autres, 2008). Le risque d'ingestion de particules de métaux qui se trouvent à la surface du sol est probable puisque certains animaux, tels les chevreuils, se nourrissent sur la butte d'arrêt (Ampleman et autres, 2008). Cependant, la période pendant laquelle les animaux peuvent se nourrir sur les buttes d'arrêt est de courte durée puisque les champs de tir d'armes légères sont utilisés de façon intensive pour l'entraînement des soldats durant le jour. En ce qui a trait à la concentration de cuivre observée dans la biomasse, Ampleman et autres (2008) ont rapporté une concentration de 4,3 mg/kg. Cette concentration est très faible comparativement à celle observée pour le plomb qui est de 661 mg/kg. Le niveau d'exposition au cuivre pour la faune est considéré comme faible.

L'habitat du poisson est exposé au cuivre lorsque l'eau de surface dépasse le critère de 2 µg/L établi par le CCME (s.d.). Plusieurs échantillons d'eau de surface dépassent ce critère. Ceci fut observé aux bases des forces canadiennes de Petawawa, Gagetown et Wainwright (Brochu et autres, 2009, Diaz et autres, 2008, Thibouteau et autres, 2003). La concentration maximale de 20 µg/L ayant été observée à Wainwright. Le niveau d'exposition au cuivre pour l'habitat du poisson est donc considéré comme élevé.

Le tableau 2.17 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition du cuivre et la figure 2.15 expose les résultats dans la matrice de risque.

Tableau 2.17 : Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le cuivre

Récepteurs	Toxicité	Exposition
Soldats	Moyen	Moyen
Instructeurs de tir	Moyen	Moyen
Travailleurs	Moyen	Moyen
Public	Moyen	Faible
Faune	Faible	Faible
Habitat du poisson	Élevé	Élevé

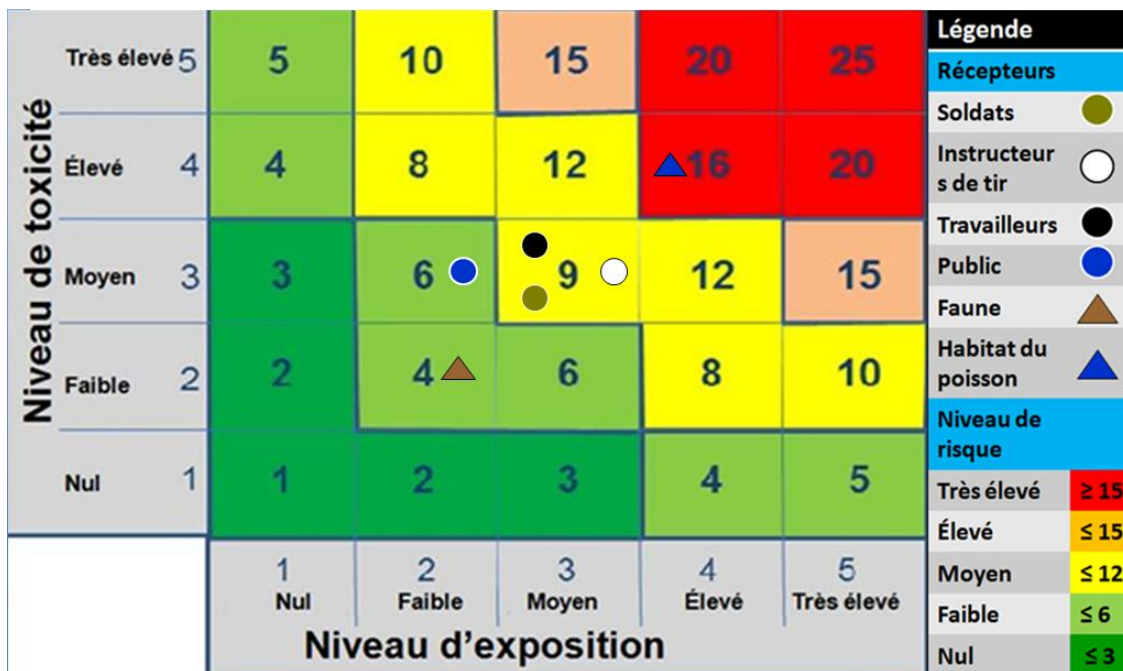


Figure 2.15 : Matrice des risques pour le cuivre (inspirée de Transport Canada, 2010)

Le niveau de risque pour le cuivre est élevé pour l'habitat du poisson, moyen pour les soldats, les instructeurs et les travailleurs et faible pour la faune et le public. La moyenne de risque pour tous les récepteurs est de niveau moyen avec un total de 8,83.

2.3.12 Les caractéristiques du zinc

Le zinc fait partie de l'alliage utilisé pour fabriquer l'enveloppe de la balle (ITRC, 2003). La quantité de zinc utilisé pour chaque balle est moins de 1 % du poids de la balle (Laporte-Saumure, 2010). Le zinc est un métal commun présent dans l'air, l'eau, le sol et la nourriture (*U. S. Department of Health and Human Services, 2005*).

Les concentrations de fonds de zinc au Canada varient entre 29 et 235 mg/kg (CCME, 1999c). La concentration moyenne de zinc dans les eaux de surface au Canada se situe entre 0,001 mg/L et 1,17 mg/L (Santé Canada, 1979). Santé Canada n'a pas fixé de concentration maximale pour le zinc dans l'eau potable. Cependant, Santé Canada recommande une concentration maximale de zinc de ≤ 5,0 mg/L comme critère puisque l'eau prend un mauvais goût au-delà de cette dernière. La recommandation pour la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique est de 30 µg/L (CCME, s.d.). Le tableau 2.18 présente les recommandations canadiennes du CCME pour la qualité des sols pour le zinc.

Tableau 2.18 : Recommandations du CCME concernant le zinc (tiré de CCME, 1999c.)

Recommandations pour la qualité des sols environnement et santé humaine						
		Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Concentration (mg/kg poids sec)	Date
Nom Chimique	Groupe chimiques	Agricole	Résidentielle/parc	Commerciale	Industrielle	
Zinc	Inorganique	200	200	360	360	1999

En ce qui a trait aux concentrations de zinc dans les champs de tir d'armes légères, quelques concentrations dépassent les recommandations du CCME. Le tableau 2.19 montre les résultats de l'échantillonnage des sols de trois (3) bases militaires dont les concentrations observées de certains champs de tir d'armes légères ont dépassé les recommandations du CCME de 360 mg/kg pour des sols industriels.

Tableau 2.19 : Concentrations maximales de zinc observées dans les champs de tir (tiré de Ampleman et autres, 2008, Diaz et autres, 2008, Marois et autres, 2004)

Nom de l'installation	Zinc (mg/kg)
Base des Forces canadiennes Shilo	683
Base des Forces canadiennes Valcartier	2900
Base des Forces canadiennes Wainwright	2750

La concentration de zinc de 2 900 mg/kg dépasse de huit (8) fois la concentration recommandée pour le critère industriel du CCME. Cette concentration de zinc fut observée au champ de tir d'armes de la base des Forces canadienne de Valcartier.

2.3.13 L'analyse des risques du zinc

Le zinc est un métal indispensable pour la bonne santé de la flore, de la faune (CCME, 1999c) et de l'être humain (Santé Canada, 1979). Cependant, à haute concentration le zinc peut engendrer des effets néfastes sur l'habitat du poisson (US EPA, 1980), la flore, la faune (CCME, 1999c) et la santé humaine (ATSDR, 2005).

L'habitat du poisson subit des effets néfastes du zinc lorsque les concentrations se situent à plus de 90 µg/L (US EPA, 1980). Le zinc provoque des lésions tissulaires aux branchies des invertébrés et des poissons qui bouleversent le processus de régulation de la pression osmotique intérieure de l'eau et peut causer la mort (Eilser, 1993).

Chez la faune terrestre, le zinc est un élément essentiel à la croissance et à la bonne santé. Cependant, une concentration de zinc dans la nourriture de plus de 750 mg/kg peut provoquer chez les animaux de la déshydratation, la consommation excessive de minéraux, une perte de poids, des faiblesses, la jaunisse, la diarrhée, de la paralysie des pattes chez les oiseaux et une réduction marquée d'agnelets viables chez les moutons (CCME, 1999c).

Chez les humains, le zinc est un élément essentiel à la croissance et à la bonne santé (Santé Canada, 1979). Par contre, une exposition à une forte concentration de zinc par l'inhalation, l'ingestion ou lors du contact avec la peau peut provoquer des effets néfastes sur la santé. L'inhalation d'une grande quantité de zinc sous forme gazeuse ou de poussières peut causer des maux de tête, des difficultés respiratoires, de la toux, des douleurs thoraciques, des frissons, des faiblesses, de la fièvre, et dans les cas extrêmes d'exposition ($33\ 000\ \text{mg/m}^3$) la mort (ATSDR, 2005). L'ingestion du zinc est susceptible de provoquer des douleurs intestinales, la nausée, des vomissements, la diarrhée, le mal de gorge, une pancréatite et nuire aux tissus gastro-intestinaux (ATSDR, 2005). L'exposition au zinc par la peau diffère selon la forme chimique du zinc. Ainsi, selon ATSDR (2005) seulement les sels de zinc et le chlorure de zinc (ZnCl_2) peuvent provoquer des irritations sévères à la peau.

Le niveau de toxicité du zinc est donc considéré comme faible pour la santé humaine, faible pour la faune et élevé pour l'habitat du poisson.

Lors de la mise à feu du projectile, les soldats et les instructeurs peuvent être exposés aux particules de zinc qui sont éjectées de la bouche du fusil. Il n'y a pas d'étude sur les concentrations de zinc sous forme de vapeur ou de particules émises dans les champs de tir d'armes légères. Cependant, une balle contient seulement 0,5 % de zinc. Cette quantité est très faible et il est peu probable qu'il y ait des émissions puisque le zinc n'a pas été détecté sur le sol de la butte de tir (Thiboutot et autres, 2012). L'exposition au zinc pour les soldats (tireurs) et les instructeurs est donc considérée comme nulle.

Pour les travailleurs, l'exposition au zinc peut survenir lorsque les travaux dans la butte d'arrêt, l'endroit où les concentrations de zinc sont les plus élevées, occasionnent de la poussière qui peut être ingérée et respirée. Par contre, ces travaux majeurs sont très peu fréquents et les concentrations maximales de zinc de 2 900 mg/kg (Marois et autres, 2004) contenues dans le sol sont faibles en comparaison de la concentration maximum de plomb de 66 000 mg/kg (Diaz et autres, 2008). Le niveau d'exposition attribué aux travailleurs pour le zinc est faible.

Le public peut être exposé au zinc par l'inhalation de poussières et la contamination de l'eau souterraine et de surface. L'inhalation de poussières contenant du zinc est peu probable en raison des faibles concentrations observées dans les sols des buttes d'arrêt. Les concentrations de zinc dans l'eau potable sont très faibles. La concentration maximale observée sur une base militaire est de seulement 520 µg/L (Martel et autres, 2009b) et le critère établi par Santé Canada (1979) est de $\leq 5,0$ mg/L. L'exposition au zinc dans l'eau souterraine est très faible. La consommation de l'eau de surface ne pose pas de risque d'exposition puisqu'elle est traitée avant la consommation. Le niveau d'exposition pour le zinc est considéré comme faible.

La faune est exposée au zinc par l'ingestion d'eau de surface, de biomasse contaminée ou d'ingestion accidentelle de sol. La concentration maximale de zinc observée dans l'eau de surface est de 169 µg/L à la Base des Forces canadiennes de Petawawa (Brochu et autres, 2009). Le risque d'ingestion accidentelle de particules de métaux qui se trouvent à la surface du sol est probable, mais faible puisque les concentrations de zinc dans le sol des buttes d'arrêt sont faibles. De plus, Ampleman et autres (2008) ont observé une concentration de zinc de 40,9 mg/kg. Cette concentration est sous la dose recommandée pour la nourriture du bétail qui est de 45 mg/kg (CCME, 1999c). Le niveau d'exposition au zinc pour la faune est considéré comme faible.

L'habitat du poisson est exposé au zinc lorsque l'eau de surface dépasse le critère de 30 µg/L établi par le CCME (s.d.). Cette concentration fut dépassée uniquement dans les échantillons tirés de deux (2) bases militaires sur six (6). Martel et autres (2008a) ont observé une concentration maximale de 169 µg/L à la Base des Forces canadiennes de Petawawa. Pour cette raison, le niveau d'exposition au zinc pour l'habitat du poisson est considéré comme étant moyen.

Le tableau 2.20 résume les résultats de l'analyse de la toxicité et de l'exposition en ce qui a trait au zinc et la figure 2.16 expose les résultats dans la matrice de risque.

Tableau 2.20 : Résultats d'analyse de la toxicité et de l'exposition pour le zinc

Récepteurs	Toxicité	Exposition
Soldats	Faible	Nul
Instructeurs de tir	Faible	Nul
Travailleurs	Faible	Faible
Public	Faible	Faible
Faune	Faible	Faible
Habitat du poisson	Élevé	Moyen

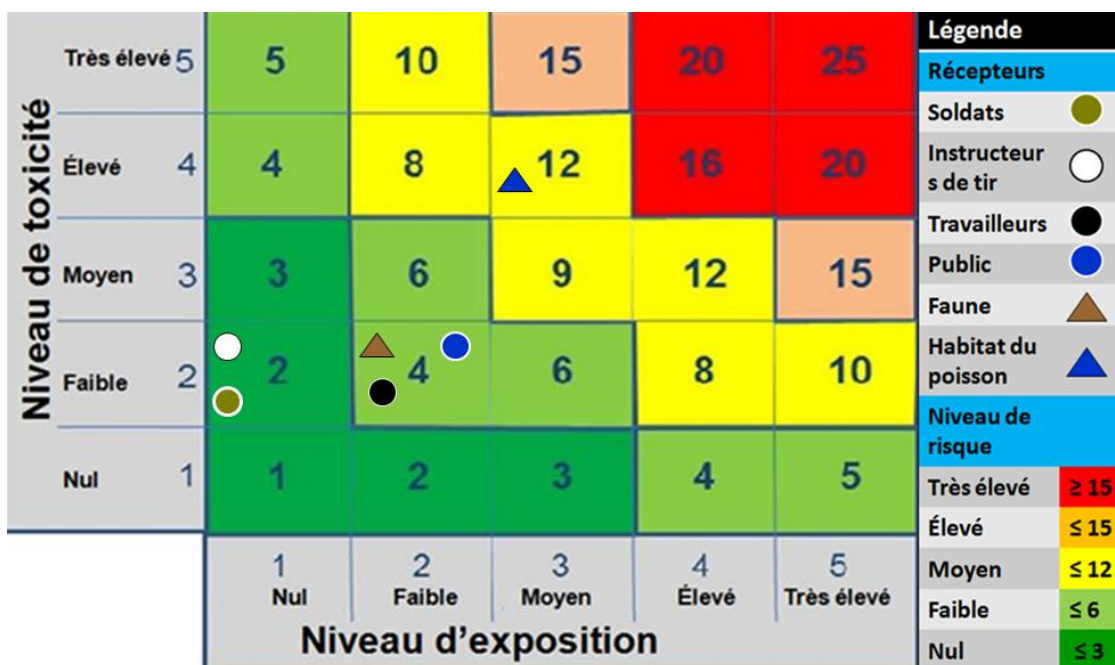


Figure 2.16 : Matrice des risques pour le zinc (inspirée de Transports Canada, 2010)

Le récepteur qui est le plus à risque avec le zinc est l'habitat du poisson. Le niveau de risque est de niveau faible avec une moyenne de 4.67.

2.4 Les résultats consolidés de l'analyse des risques

Cette section présente les résultats consolidés des matrices de risque. Les résultats serviront à choisir les indicateurs de la grille d'évaluation de la durabilité des champs de tir d'armes légères.

Le tableau 2.21 présente le niveau de risque de chacun des contaminants retrouvés dans les champs de tir d'armes légères pour chaque récepteur. Ce tableau cible les contaminants ayant des effets négatifs élevés et très élevés qui nuisent à la durabilité des champs de tir d'armes légères. Ainsi, le plomb et le cuivre sont les contaminants qui nuisent le plus de récepteurs. Le plomb représente un risque très élevé pour le public et la faune. En ce qui a trait au cuivre, il constitue un risque très élevé pour l'habitat du poisson.

Tableau 2.21 : Consolidation des niveaux de risque pour chaque contaminant provenant des matrices de risque

Contaminant/ Récepteur	NG	2,4 DNT	Pb	Sb	Cu	Zn
Soldats	4	12	10	6	9	2
Instructeurs	4	8	10	6	9	2
Travailleurs	4	8	10	6	9	4
Public	2	4	20	6	6	4
Faune	4	8	20	6	4	4
Habitat du poisson	4	4	10	4	16	12
Total	22	44	80	34	53	28
Légende - Niveau de risque	Nul (< 18)	Faible (< 36)	Moyen (< 72)	Élevé (< 90)	Très élevé (> 90)	

Le tableau 2.21 permet d'établir, pour chacun des récepteurs, le niveau de risque attribuable à chacun des contaminants. Ainsi, le niveau de risque attribué à la nitroglycérine est faible avec un total de 22 points tandis que le niveau de risque pour le plomb est élevé avec 80 points. Plus le niveau de risque d'un contaminant est élevé, plus il peut avoir des impacts négatifs pour l'environnement et la santé humaine, et conséquemment diminuer la durabilité des champs de tir d'armes légères.

3. GRILLE D'ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ

Le chapitre 2 a permis d'identifier la problématique qui découle de la pratique du tir réel dans les champs de tir d'armes légères et de définir les risques qui émanent des interactions entre les contaminants et les récepteurs. Cette description de la problématique a permis d'établir un diagnostic environnemental détaillé par l'entremise d'une analyse des risques et de cerner les contaminants pouvant avoir un effet négatif sur la durabilité des champs de tir d'armes légères.

En se basant sur certains éléments du cadre législatif, sur la description des contaminants et de l'analyse des risques complétée en fonction des récepteurs, il est possible de développer un outil qui servira à évaluer la durabilité des champs de tir d'armes légères. Cet outil, présenté sous forme de questionnaire d'évaluation de la durabilité, est décrit et présenté dans le présent chapitre ainsi qu'à l'annexe 1. Le chapitre 3 est divisé en quatre (4) sections soient : 1) les objectifs de l'outil et les caractéristiques de l'utilisateur, 2) les indicateurs de mesure de durabilité, 3) la structure et le cadre d'utilisation de l'outil et 4) les limites de l'outil.

3.1 Les objectifs et les caractéristiques de l'utilisateur de l'outil

L'objectif ultime de l'outil est de mesurer la durabilité environnementale d'un champ de tir d'armes légères. Selon l'Office fédéral du développement territorial (ARE) (2004) qui a développé un guide des outils d'évaluation de projets selon le développement durable, un outil qui évalue la durabilité doit être capable de déterminer si un projet est durable ou non durable. Cette caractéristique est applicable dans le cadre de cet essai, car l'outil de mesure de durabilité doit pouvoir établir si un champ de tir d'armes légères est durable ou non. Un champ de tir durable, selon les définitions établies à la section 1.7.3, est un champ de tir dont les activités ont peu d'impacts et de répercussions négatives sur l'environnement et qui ne compromettent pas les besoins des générations futures. Par contre, un champ de tir non durable engendre des effets négatifs importants et il peut compromettre les besoins du futur.

Un outil de mesure de durabilité doit également posséder des caractéristiques et des qualités favorisant la prise de décision. Selon Bastien (2012), un outil de développement durable doit détenir les caractéristiques suivantes pour aider la prise de décision : l'intelligibilité, l'efficacité, la transparence, la simplicité d'usage et la clarté des résultats obtenus. Ces caractéristiques, même si elles ont été élaborées pour un outil de développement durable, s'appliquent aussi à un outil de mesure de la durabilité. Les caractéristiques retenues pour l'outil, dans le cadre de cet essai, sont la simplicité d'utilisation, l'efficacité et la clarté des résultats obtenus.

En plus des qualités qui favorisent la prise de décision, un outil doit absolument être adapté à l'utilisateur. C'est ce dernier qui permet au concepteur de déterminer les modalités d'utilisation de l'outil. Dans le cadre de la gestion de durabilité des champs de tir d'armes légères, l'outil de mesure de durabilité pourra être utilisé par l'officier d'environnement de chaque base militaire. Cet utilisateur est considéré comme un expert puisqu'il possède une connaissance approfondie de la base et des problématiques environnementales associées aux champs de tir d'armes légères. L'emploi du temps chargé d'un officier d'environnement de base justifie d'autant plus les caractéristiques retenues pour l'outil c'est-à-dire la simplicité d'utilisation, l'efficacité et la clarté des résultats obtenus.

3.2 Les indicateurs de mesure de durabilité

Les indicateurs forment le cœur de l'outil de mesure de la durabilité. Chaque indicateur a pour objectif d'évaluer un aspect spécifique de la durabilité d'un champ de tir d'armes légères.

Les indicateurs utilisés pour l'outil de mesure de durabilité des champs de tir d'armes légères furent choisis en fonction des caractéristiques recommandées par le Guide sur les indicateurs du Gouvernement du Québec. Selon le guide, un bon indicateur doit posséder les caractéristiques suivantes :

- La pertinence;
- La validité;
- La faisabilité;
- La convivialité;
- La comparabilité (Québec Secrétariat du Conseil du trésor, 2003).

Au total 20 indicateurs, mesurant un seul élément à la fois, ont été choisis pour évaluer la durabilité. Ceux-ci sont représentés par une question. Les détails sur la structure du questionnaire et son cadre d'utilisation sont disponibles à la section suivante. Pour sa part, l'Annexe 1 présente une explication détaillée de chacun des indicateurs. Vous y trouverez les détails sur le pointage, le choix des unités de mesure, le choix des indicateurs, les facteurs mesurés et les liens avec la durabilité de champs de tir d'armes légères. Ces détails et explications ont pour objectif d'aider l'utilisateur à saisir le sens réel de chacune des questions pour ainsi lui permettre de prendre des décisions éclairées sur la gestion des problèmes environnementaux associés à la durabilité des champs de tir d'armes légères.

3.3 Structure et cadre d'utilisation

L'outil développé prend la forme générale d'un questionnaire à remplir sur le tableur Excel[®]. Cette méthode, efficace et simple, permet à l'utilisateur d'obtenir instantanément des résultats au fur et à mesure qu'il répond aux questions.

L'outil de mesure compte quatre (4) sections, dont une table des matières, un mode d'emploi, les questions détaillées servant à effectuer l'évaluation et une grille de pondération des résultats afin d'établir le degré d'atteinte de durabilité.

Le questionnaire détaillé de durabilité comporte cinq (5) parties. Les quatre premières parties comprennent 20 questions divisées entre : (1) les indicateurs généraux de durabilité, (2) les indicateurs du plomb, (3) les indicateurs du cuivre et (4) les indicateurs spécifiques de durabilité. La cinquième partie du questionnaire présente les résultats consolidés des quatre (4) premières parties.

Les indicateurs généraux de durabilité comprennent huit (8) questions d'ordre plus général qui permettent à l'utilisateur d'effectuer une première évaluation de la durabilité. La particularité de cette partie fait en sorte qu'elle peut être utilisée séparément du reste de l'outil pour l'évaluation lorsqu'un nouveau projet de champ de tir d'armes légères est considéré. Pour un champ de tir déjà en service, la partie 1 doit être accompagnée des parties 2, 3 et 4 et ces dernières doivent toutes être complétées pour effectuer l'évaluation de durabilité. Les indicateurs de durabilité de cette section sont construits en fonction des risques suivants :

- Risques de contamination des cours d'eau à l'intérieur et à l'extérieur de la base militaire;
- Risques de contamination de l'eau souterraine non traitée utilisée pour la consommation humaine ou animale; et
- Risques de contamination de l'habitat critique des espèces en péril et des oiseaux migrants.

La figure 3.1 illustre la partie 1 de l'outil, dont les indicateurs généraux de durabilité.

Partie 1 — Indicateurs généraux de durabilité								
G.1	Quel est le niveau de précipitation annuelle en mm/par année ?	0 à < 400	401 à < 800	801 à < 1 200	1 201 à < 1 600	1 601 à < 2 000	≥ 2 001	
		15	12	10	5	2	0	
G.2	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement du champ de tir d'armes légères demeure à l'intérieur de la propriété du Ministère de la Défense nationale ?	Oui	Non					
		15	0					
G.3	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement demeure à l'intérieur du champ de tir d'armes légères ?	Oui	Non					
		10	0					
G.4	Quelle est la distance du cours d'eau, du lac ou du marais le plus près ?	Plus de 4 km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		
		15	10	8	2	0		
G.5	Quelle est la distance du puits d'eau potable (non traité) le plus près utilisé pour la consommation humaine ou animale ?	Plus de 4 km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		
		15	10	8	2	0		
G.6	Quel est le type de sol du champ de tir d'armes légères ?	Argile	Limon	Sable				
		10	5	0				
G.7	Est-ce qu'il y a des espèces en péril, en voie de disparition, menacées et/ou préoccupantes sur ou aux abords des champs de tir ?	Non	Oui					
		10	0					
G.8	Est-ce que les oiseaux migrateurs utilisent ou nichent sur ou aux abords du champ de tir d'armes légères ?	Non	Oui					
		10	0					
Total							0%	

Figure 3.1 : Partie 1, les indicateurs généraux de durabilité

La deuxième partie, reliée aux indicateurs pour le plomb, contient quatre (4) questions. Dans cette partie l'outil de durabilité mesure l'impact du plomb sur la durabilité des champs de tir d'armes légères. Cette section contient quatre (4) questions développées en fonction des concentrations de plomb retrouvées dans le sol, l'eau de surface et souterraine étant donné que le niveau de risque pour la santé humaine et la faune est proportionnel aux concentrations retrouvées dans le sol (Santé Canada, 2013). La figure 3.2 présente les indicateurs pour le plomb.

Partie 2 — Indicateurs — Plomb							
P.1	Est-ce que la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 600 mg/kg ? Si la réponse est OUI , inscrire le pointage de 100 et passer à la Section du CUIVRE , si la réponse est NON veuillez répondre aux questions P.2 à P.4 ci-dessous.	Oui	Non				
		100	veuillez répondre aux questions ci-dessous				
P.2	Quelle est la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt ?	entre 600 et 3000 mg/kg	entre 3000 et 6000 mg/kg	entre 6000 et 9000 mg/kg	entre 9 000 et 12 000 mg/kg	entre 12 000 et 15 000 mg/kg	15 000 et + mg/kg
		70	60	50	30	10	0
P.3	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau souterraine située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 10 µg/l	> 10 µg/l			
		10	5	0			
P.4	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau de surface située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 1 µg/l	> 1 µg/l			
		10	5	0			
Total							0%

Figure 3.2 : Partie 2, les indicateurs pour le plomb

La troisième partie, associée aux indicateurs pour le cuivre, comporte trois (3) questions. L'outil de durabilité y évalue le risque d'impact en fonction des concentrations de cuivre retrouvées dans le sol et dans l'eau de surface. Tout comme la partie sur le plomb, les indicateurs sont basés sur les concentrations de cuivre dans le sol et dans l'eau de surface et souterraine. Le niveau de risque à l'habitat du poisson étant proportionnel aux concentrations de cuivre retrouvées dans le sol et dans l'eau de surface (Santé Canada, 2013). La figure 3.3 représente la partie 3 de l'outil.

Partie 3 — Indicateurs — Cuivre							
C.1	Est-ce que la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 91 mg/kg ? Si la réponse est OUI , inscrire le pointage et passer à la Partie 4.	Oui	Non				
		100	veuillez répondre aux questions ci-dessous				
C.2	Quelle est la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt ?	entre 91 et 200 mg/kg	entre 200 et 500 mg/kg	entre 500 et 1 000 mg/kg	entre 1 000 et 2000 mg/kg	entre 2 000 et 4 000 mg/kg	4 000 et + mg/kg
		70	60	50	30	10	0
C.3	Quelle est la concentration de cuivre détectée dans l'eau surface ?	Non détecté	Détecté, mais < 2 µg/l	> 2 µg/l			
		20	10	0			
Total							0%

Figure 3.3 : Partie 3, les indicateurs pour le cuivre

La quatrième partie, renfermant cinq (5) questions, permet d'évaluer des indicateurs spécifiques de durabilité tels que la végétation, le pH du sol, l'érosion, la profondeur de l'eau souterraine et la protection de la faune. La figure 3.4 présente la partie 4 de l'outil.

Partie 4 — Indicateurs spécifiques de durabilité							
A.1	La butte d'arrêt est-elle recouverte de gazon ensemencé ?	Oui	Non				
		20	0				
A.2	Quel est le potentiel hydrogène (pH) du sol de la butte d'arrêt ?	pH entre 6,5 et 8,5	pH < 6,5	pH > 8,5			
		20	0	0			
A.3	Quel est le pourcentage d'érosion sur la butte d'arrêt ?	0- 20 %	20-40 %	> 40%			
		20	12	0			
A.4	À quelle profondeur se situe l'eau souterraine ?	> 50m	> 40 m	> 30 m	> 20 m	> 10 m	0 à 10 m
		20	16	12	8	4	0
A.5	Est-ce que le champ de tir d'armes légères est clôturé?	Oui	Non				
		10	0				
Total							0%

Figure 3.4 : Partie 4, les indicateurs spécifiques de durabilité

3.3.1 Description du pointage

Le nombre de points alloué à chacune des parties est de 100 points. La valeur du pointage peut différer d'une question à une autre selon le niveau de risque attribué au facteur mesuré. Plus l'indicateur évalué est durable, plus le pointage est élevé. Par contre, un facteur évalué comme non durable reçoit moins de points jusqu'à un pointage de zéro. En résumé, un pointage de 100 est considéré comme durable et un pointage de 0 comme non durable. À titre d'exemple, une concentration de plomb dans l'eau souterraine qui dépasse le critère d'eau potable de Santé Canada (2012) de 10 µg/L ne recevrait aucun point. Le pointage de zéro y serait alloué afin de souligner l'ampleur de l'impact sur la durabilité.

Le questionnaire complété, les résultats de toutes les questions sont combinés et calculés en un pourcentage de durabilité du champ de tir. Ce résultat est illustré automatiquement dans la partie 5 de l'outil. La figure 3.5 illustre la partie 5 de l'outil de mesure de durabilité.

Partie 5 - Résultats finaux de la durabilité

	Coefficient de pondération	% de Durabilité
Partie 1. Indicateurs généraux de durabilité:	0.25	0%
Partie 2. Indicateurs - Plomb:	0.30	0%
Partie 3. Indicateurs - Cuivre:	0.25	0%
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité:	0.20	0%
Total		0%

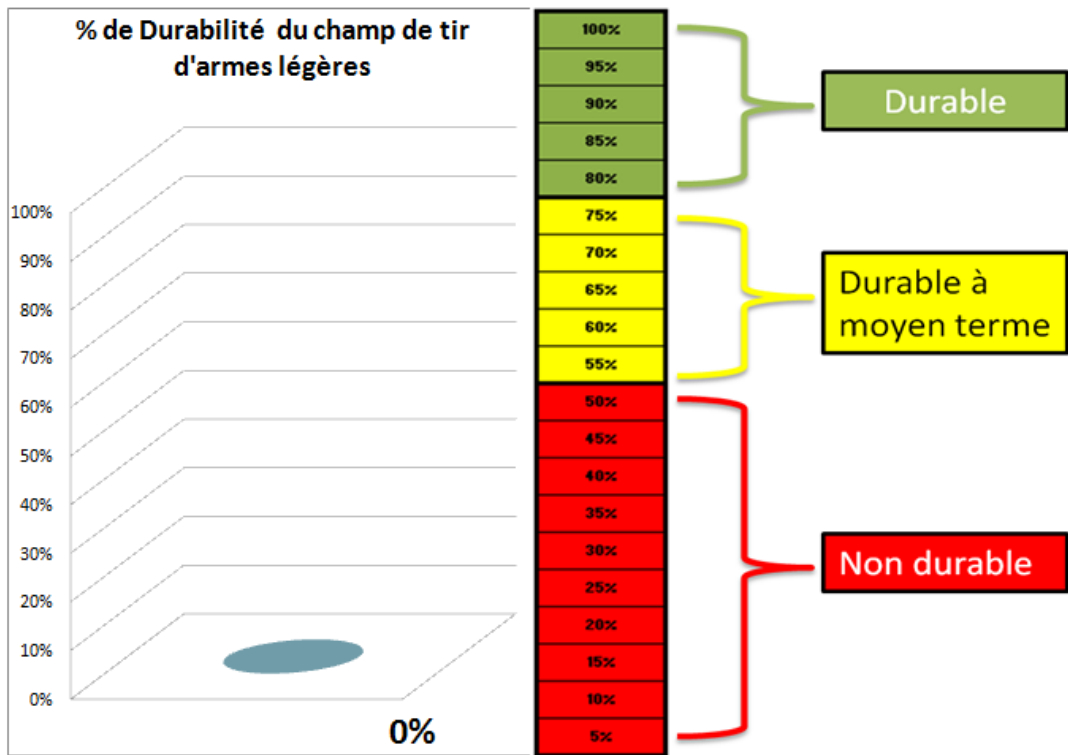


Figure 3.5 : Partie 5, résultats finaux du questionnaire de la durabilité

3.3.2 Coefficient de pondération

Un coefficient de pondération est alloué pour les résultats finaux de chacune des quatre (4) parties du questionnaire. Le coefficient de pondération est d'un total de un (1). Le poids alloué à chaque partie a été attribué selon le niveau de risque et les impacts sur la durabilité des indicateurs mesurés. Par exemple, la partie 2, les indicateurs pour le plomb, reçoit un coefficient de

pondération plus élevée en raison du niveau de risque très élevé associé au plomb. Les coefficients de pondération sont présentés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Coefficients de pondération

Description / Parties du questionnaire	Coefficient de pondération
Partie 1. Indicateurs généraux de durabilité	0,25
Partie 2. Indicateurs contaminant – Plomb	0,30
Partie 3. Indicateurs contaminant – Cuivre	0,25
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité	0,20

3.3.3 Interprétation du résultat

Le pourcentage final obtenu indique le niveau de durabilité du champ de tir d'armes légères. Il y a trois (3) niveaux de durabilité : durable, durable à moyen terme et non durable. Donc, plus le pourcentage est élevé, plus le champ de tir d'armes légères est durable. Ainsi, un champ de tir d'armes légères peut être considéré comme durable lorsque le résultat est plus élevé que 75 %, durable à moyen terme lorsque le résultat se situe entre 50 et 75 % et non durable si le résultat est moins de 50 %.

Selon les définitions du premier chapitre, un champ de tir durable a peu d'impacts et de répercussions négatifs sur l'environnement et ne compromet pas les besoins des générations futures. Un champ de tir durable à moyen terme est considéré comme un champ de tir à risque de devenir non durable si des mesures d'atténuation ne sont pas mises en place pour minimiser les impacts et les répercussions sur l'environnement. Un champ de tir non durable est un champ de tir qui a des impacts significatifs sur l'environnement et qui requiert des mesures d'atténuation immédiates.

L'interprétation des résultats permet à l'utilisateur de déterminer avec précision les aspects qui ont un impact négatif sur la durabilité d'un champ de tir d'armes légères, ce qui facilite le choix des mesures d'atténuation.

L'auteur de cet essai recommande aux Forces canadiennes de mesurer la durabilité de tous les champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes et d'utiliser les résultats pour mettre en œuvre un plan d'action qui adresse les champs de tir non durables. Il est aussi recommandé de

mesurer la durabilité annuellement, car l'utilisation des champs de tir d'armes légères diminue le niveau de durabilité en causant des effets néfastes sur les récepteurs et l'environnement.

3.4 Les limites de l'outil

Bien que cet outil évalue la durabilité des champs de tir d'armes légères des Forces canadiennes, l'évaluation est limitée au pilier environnement du développement durable. Les aspects économiques et sociaux ne sont pas abordés dans cet outil.

Il est difficile de déterminer et de cerner clairement ce que signifie le terme durabilité pour un champ de tir d'armes légères. La définition de durabilité est vaste et varie considérablement, et ce, même à l'intérieur du ministère de la Défense nationale. Cette situation laisse place à l'interprétation et rend l'évaluation de la durabilité d'autant plus difficile à définir. Comme mentionné précédemment, le développement d'une définition spécifique de la durabilité des champs de tir rendrait l'évaluation de la durabilité plus simple à effectuer.

Bien que l'outil repose sur une analyse détaillée des problématiques associées aux activités de tir réel, il demeure une unité de mesure établie sur une évaluation de risque qualitative. Il est probable que certains risques, ayant des impacts négatifs importants sur la durabilité, n'aient pas été évalués dans l'analyse. Cependant, l'outil devrait servir de point de départ pour effectuer des recherches plus avancées afin de déterminer, de façon quantitative, quels sont les facteurs associés aux activités de tir réel ayant le plus d'impact sur l'environnement.

Le pointage alloué à chaque question de l'outil est basé sur une évaluation de risque qualitative et qui, dans bien des cas s'appuie sur le jugement et l'expérience de l'auteur. Les futurs utilisateurs pourraient, selon leur niveau de connaissance et d'expérience, trouver le pointage et la valeur accordée aux indicateurs trop élevés ou encore insuffisants. Il en est de même pour le coefficient de pondération qui accorde une pondération plus élevée pour la section du plomb. Les niveaux de pondération ont été établis selon une analyse des risques quantitative. Ces composantes de l'outil pourront être ajustées et perfectionnées par les utilisateurs de l'outil.

L'outil n'a pas été testé par les officiers d'environnement des bases militaires. Les utilisateurs pourraient recommander des changements et des améliorations dont l'outil pourrait bénéficier. Les officiers d'environnement des bases militaires possèdent des connaissances et une expérience variée qui favoriseraient potentiellement l'amélioration de l'outil à long terme.

Les indicateurs de l'outil devraient être révisés de façon scientifique. Cette révision permettrait de confirmer si le choix des indicateurs ainsi que le mode de mesure sont appropriés afin de mesurer la durabilité de manière raisonnable et exacte.

En dernier lieu, il est recommandé aux officiers d'environnement des bases militaires de continuer à effectuer des suivis réguliers et de mettre en place des mesures d'atténuation pour maintenir la durabilité, et ce même si un champ de tir d'armes légères atteint un niveau de durabilité élevé.

4. TEST DE L'OUTIL DE MESURE DE LA DURABILITÉ

Cette partie a pour but d'évaluer la fonctionnalité de l'outil de mesure de durabilité des champs de tir d'armes légères en utilisant deux (2) exemples concrets. Ce chapitre est divisé en deux (2) parties. Dans la première partie, la durabilité de deux (2) champs de tir d'armes légères est évaluée permettant de soumettre l'outil à un test de contrôle. Le test est suivi d'une brève analyse des résultats. L'outil est ensuite évalué en fonction de sa capacité à atteindre les objectifs fixés pour cet essai et pour sa conformité avec les caractéristiques d'un bon outil de mesure de durabilité.

4.1 Test de l'outil

L'objectif du test de contrôle est de vérifier si l'outil peut effectivement évaluer la durabilité d'un champ de tir d'armes légères de façon efficace et raisonnable. Pour réaliser ce test, deux (2) champs de tir d'armes légères situés dans deux (2) bases militaires différentes ont été sélectionnés. Les résultats des tests se retrouvent à l'annexe 2 pour le champ de tir Myriam Bédard et à l'annexe 3 pour le champ de tir Alpha. Les résultats sont appuyés par des preuves visuelles et bibliographiques.

Le premier test de contrôle a été effectué pour le champ de biathlon Myriam Bédard de la base des Forces canadiennes de Valcartier. Ce champ de tir est utilisé pour la pratique du tir de précision pour des compétitions de biathlon. Cela signifie que le champ de tir est utilisé durant toute l'année. Ce champ de tir a obtenu un résultat global de durabilité de 58 %. La figure 4.1 présente les résultats du test.

Partie 5 - Résultats finaux de la durabilité

	Pondération	% Durabilité
Partie 1. Indicateurs généraux de durabilité:	0.25	20%
Partie 2. Indicateurs - Plomb:	0.30	5%
Partie 3. Indicateurs - Cuivre:	0.25	25%
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité:	0.20	8%

Total **58%**

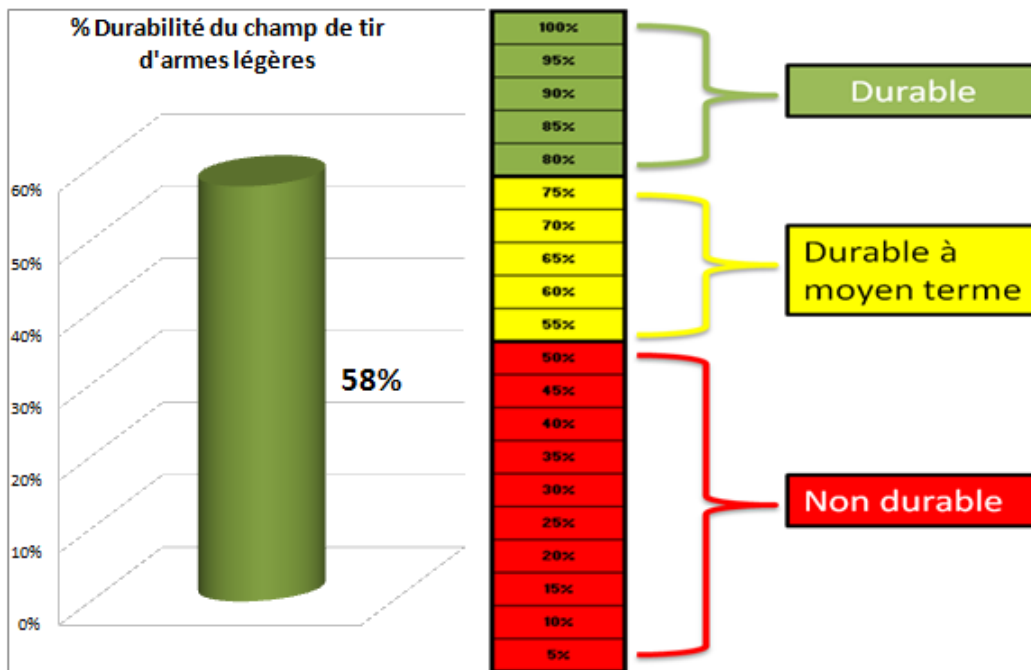


Figure 4.1 : Résultats finaux de la durabilité pour le champ de tir Myriam Bédard

Le deuxième test de contrôle a été effectué pour le champ Alpha de la base des Forces canadiennes de Meaford. Ce champ de tir est utilisé par les soldats pour la pratique du tir de précision de plusieurs types d'armes légères. Ce champ de tir est utilisé toute l'année, cependant le tir est moins fréquent durant la période hivernale. Le champ de tir Alpha a obtenu un résultat de durabilité global de 68 %. La figure 4.2 présente les résultats du test.

Partie 5 — Résultats finaux de la durabilité

	Pondération	% Durabilité
Parti	0.25	18%
Partie 2. Indicateurs - Plomb:	0.30	23%
Partie 3. Indicateurs - Cuivre:	0.25	18%
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité:	0.20	10%

Total 68%

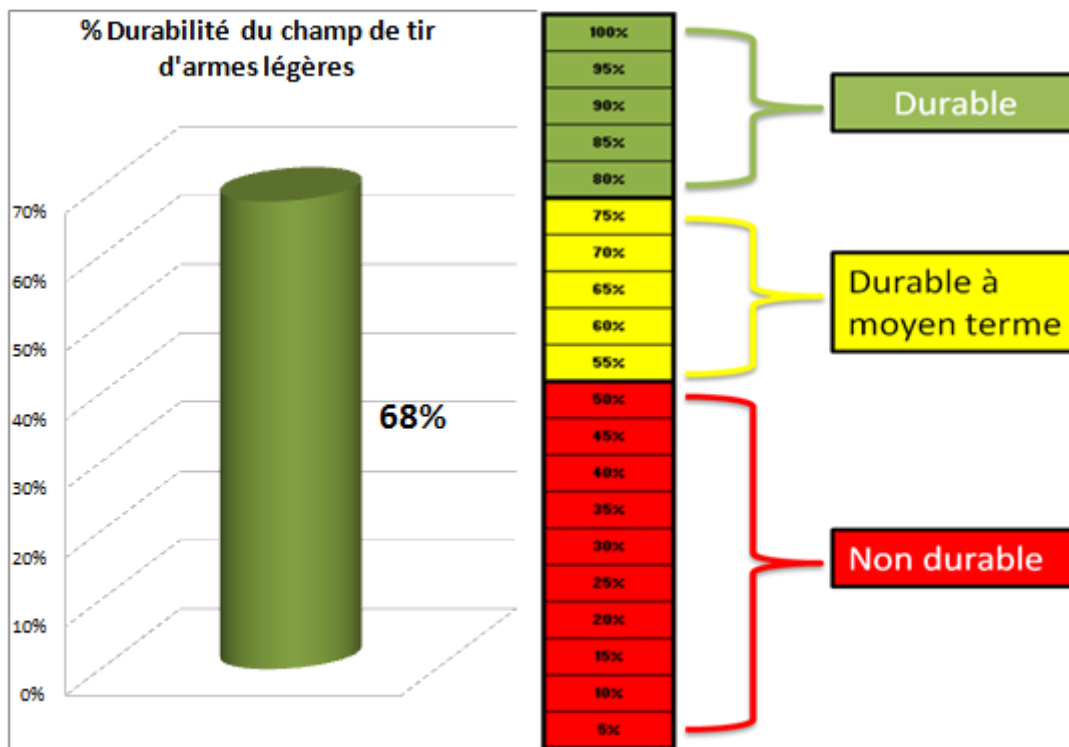


Figure 4.2 : Résultats finaux de la durabilité pour le champ de tir Alpha

L'analyse des résultats illustre que les deux (2) champs de tir sont durables à moyen terme. L'analyse permet de faire ressortir les facteurs qui nuisent à la durabilité des champs de tir. Ainsi, pour le champ de tir Myriam Bédard, la concentration très élevée de plomb dans le sol de 50 000 mg/kg (Marois et autres, 2004) réduit considérablement le niveau de durabilité. Par contre, en raison de la très faible concentration de cuivre dans la butte d'arrêt, tous les points sont alloués à la partie 3. Dans la partie 4, indicateurs spécifiques de durabilité, l'absence de couverts végétaux,

le haut pourcentage d'érosion et l'absence de clôture font en sorte que le champ de tir Myriam Bédard est à la limite de la durabilité.

En ce qui a trait au champ de tir Alpha, celui-ci perd 10 points dans la première partie (indicateurs généraux de durabilité), car le drainage des eaux de ruissellement ne demeure pas à l'intérieur du champ de tir d'armes légères. Dans la partie 2, le niveau de durabilité est de 75 % et de 70 % dans la partie 3 ce qui est durable à moyen terme. Dans la partie 4, indicateurs spécifiques de durabilité, le champ de tir Alpha perd des points en ce qui a trait au pourcentage d'érosion observé sur la butte d'arrêt, à la faible profondeur de l'eau souterraine et à l'absence de clôture.

Suite à cette analyse sommaire des deux (2) champs de tir d'armes légères, les résultats permettent d'établir spécifiquement quels sont les facteurs qui contribuent à diminuer la durabilité du champ de tir d'armes légères. À titre de recommandation, si le gestionnaire du champ de tir Myriam Bédard effectuait le nettoyage de la butte d'arrêt et que les concentrations de plomb descendaient sous les recommandations émises par le CCME, le niveau de durabilité atteindrait un pourcentage de 83 %.

Cette analyse permet aussi d'observer que les concentrations de cuivre sont beaucoup plus élevées dans le champ de tir Alpha soit de 227 mg/kg (Ampleman et autres, 2009) tandis que ce n'est pas le cas dans le champ de tir Myriam Bédard avec 19 mg/kg (Marois et autres, 2004). Il est important de vérifier dans ce cas si les projectiles utilisés pour le biathlon contiennent du cuivre. De telles observations peuvent permettre le raffinement des résultats obtenus par l'outil.

4.2 Évaluation de l'objectif et des caractéristiques de l'outil

Cette partie vise à évaluer si l'outil de mesure de durabilité atteint les objectifs initiaux fixés au début de cet essai.

L'objectif premier de l'outil est qu'il soit capable d'évaluer, à l'aide d'indicateurs, la durabilité d'un champ de tir d'armes légères.

Le test sur les deux (2) champs de tir d'armes légères confirme que l'outil peut effectivement mesurer, à l'aide des indicateurs choisis, la durabilité d'un champ de tir. L'outil permet aussi de déterminer quels sont les facteurs qui nuisent à la durabilité. Il facilite ainsi le choix des mesures d'atténuation à mettre en place afin d'améliorer la durabilité de chaque champ de tir d'armes légères. L'officier en environnement, en collaboration avec le gestionnaire du champ de tir, peut ainsi prendre des décisions éclairées quant au développement, la mise en œuvre, l'utilisation et

l'entretien des champs de tir d'armes légères permettant de maintenir un niveau de durabilité plus élevé. Un niveau de durabilité élevé réduit les risques d'impacts négatifs sur l'environnement, la santé humaine et peut contribuer à la diligence raisonnable.

Le but de cette section est aussi de valider si l'outil rencontre les caractéristiques d'un bon outil de mesure de durabilité mentionnées à la section 3.1. Les caractéristiques étant la simplicité d'utilisation, l'efficacité et la clarté des résultats obtenus.

Les tests de contrôle ont permis d'établir que l'outil de mesure de durabilité rencontre les caractéristiques d'un bon outil. L'outil est efficace, car un utilisateur peut facilement évaluer plusieurs champs de tir d'armes légères en une journée de travail lorsque les données sont disponibles. Un officier d'environnement ayant sous la main l'information requise, en plus de ses connaissances approfondies des champs de tir d'armes légères sous sa responsabilité, devrait pouvoir effectuer une analyse efficacement en moins de trois heures.

L'outil est simple et facile d'utilisation. Le calcul automatique et les graphiques de durabilité donnent une rétroaction immédiate et favorisent la prise de décision. Les résultats obtenus pour chaque tableau sont clairs et permettent à l'utilisateur de prendre rapidement des décisions et d'élaborer des actions visant à améliorer la durabilité.

Comme démontré ci-dessus, il est possible d'affirmer que l'outil atteint les objectifs qui ont été fixés dans le cadre de cet essai et qu'il détient les qualités essentielles et les caractéristiques d'un bon outil de mesure de durabilité des champs de tir d'armes légères.

5. RECOMMANDATIONS

Cette partie a pour objectif de présenter aux Forces canadiennes les trois (3) recommandations principales de cet essai.

Premièrement, la définition de développement durable tiré de la DOAD 4003-0 et les définitions de durabilité utilisées par les Forces canadiennes sont jugées trop générales et diffuses, ce qui entrave l'élaboration d'objectifs clairs et précis pour les champs de tir d'armes légères. L'auteur de cet essai recommande donc aux Forces canadiennes de développer une définition de durabilité qui tiendrait compte à la fois de l'environnement et des besoins opérationnels. Une telle définition permettrait de définir et de caractériser des objectifs précis à atteindre afin de favoriser le développement durable.

En deuxième lieu, il est recommandé de mesurer la durabilité de chacun des champs de tir annuellement. L'utilisation continue des champs de tir d'armes légères peut nuire à la durabilité. Les effets néfastes causés par le tir réel peuvent, dans certains cas, rendre le champ de tir d'armes légères non durable.

Finalement, il est recommandé que les officiers d'environnement des bases militaires effectuent des suivis périodiques et mettent en place des mesures d'atténuation pour maintenir la durabilité, et ce, même si un champ de tir d'armes légères a atteint un niveau de durabilité élevé.

CONCLUSION

L'entraînement au tir réel est essentiel pour préparer les soldats canadiens à effectuer leurs missions avec succès. Inévitablement, cet entraînement introduit dans les milieux naturels plusieurs contaminants qui peuvent nuire à la qualité de l'environnement d'un champ de tir d'armes légères. À cet effet, le défi pour les Forces canadiennes est d'assurer une gestion efficace de ses secteurs d'entraînement afin de soutenir les besoins opérationnels à long terme tout en minimisant les impacts environnementaux. C'est dans cette perspective que l'outil présenté dans cet essai a été développé.

Bien que les différentes composantes et l'opération d'un champ de tir d'armes légères ne soient pas toujours réglementées, les contaminants résultants de la mise à feu des projectiles font souvent l'objet de standards et de valeurs guides. À cette fin, l'analyse détaillée des contaminants a permis de cibler les problématiques environnementales en tenant compte de l'interaction entre les récepteurs et les contaminants. L'analyse effectuée en deux volets identifiait dans un premier temps les contaminants qui ont un impact sur l'environnement et dans un deuxième temps évaluait le risque de chacun des contaminants en fonction de l'exposition et de la toxicité. Cette analyse a permis de démontrer que la nitroglycérine, l'antimoine et le zinc ont peu d'impact sur les récepteurs et représente un faible risque que le 2,4 DNT constitue un risque moyen pour les soldats, les instructeurs, les travailleurs et la faune, tandis que le cuivre et le plomb représentent un risque élevé pour l'habitat du poisson, le public et la faune.

Une série d'indicateurs, capables de mesurer la durabilité d'un champ de tir d'armes légères, ont été développés afin de mesurer la durabilité d'un champ de tir d'armes légères. Les 20 indicateurs sélectionnés se sont transformés en une série de questions présentée sous forme de grille d'évaluation de la durabilité d'un champ de tir d'armes légères. Cet outil permettra ainsi aux Forces canadiennes de prendre des décisions éclairées relatives à la mise en place, l'entretien, l'utilisation et l'aliénation des champs de tir d'armes légères. Plus spécifiquement, la grille d'évaluation permettra aux officiers d'environnement des Forces canadiennes d'obtenir rapidement une image de la situation environnementale d'un champ de tir et d'en tirer des conclusions quant au choix de mesures correctives appropriées afin de diminuer les impacts environnementaux négatifs.

Les tests de contrôles effectués avaient pour objectifs d'évaluer la fonctionnalité de l'outil de mesure de durabilité des champs de tir d'armes légères ainsi que d'établir la qualité de l'outil en fonction des caractéristiques d'un bon outil d'évaluation. Effectivement, il est possible de conclure que l'outil est capable d'évaluer la durabilité d'un champ de tir d'armes légères à l'aide d'indicateurs. Les résultats des deux tests de contrôle permettent aussi d'établir que l'outil est

fonctionnel, simple d'utilisation et qu'il favorise la prise de décision concernant les mesures à prendre pour améliorer la durabilité. En plus, l'outil a aussi permis de cerner les facteurs qui contribuent à diminuer la durabilité des deux champs de tir d'armes légères qui ont été évalués .

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que l'outil d'évaluation de durabilité, développé dans le cadre de ce travail, facilitera grandement la gestion des 250 champs de tir d'armes légères. D'ailleurs, un outil comme celui-ci devrait permettre aux Forces canadiennes de réduire de façon significative les risques d'impacts négatifs sur l'environnement et sur la santé humaine contribuant ainsi à la durabilité des champs de tir d'armes légères.

RÉFÉRENCES

- Agence canadienne d'évaluation environnementale (2013). *Évaluations environnementales commencées avant octobre 2003*. <http://www.ceaa-acee.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=4F451DCA-1> (Page consultée le 13 mai 2013).
- Air Force Center for Environmental Excellence (AFCEE) (2000). " *Technical Protocol for Determining the Remedial Requirements for Soils at Small Arms Firing Ranges,*" Technology Transfer Division (AFCEE/ERT). Prepared by Parsons Engineering Science, Inc., 213 p.
- Ampleman G., Ballard J.M., Bouchard M., Gagnon A., Gauthier C., Jenkins T. F., Lefebvre R., Lewis J., Marois A., Martel R., Pennington J. C., Ranney T. A., Thiboutot S. (2008). *Evaluation of the Impacts of Live Fire Training at CFB Shilo (Final report)*. Defence Research Development Canada Valcartier, Technical Report DRDC-Valcartier TR 2003-066, 202 p.
- Ampleman G., Gagnon A., Marois A., Thiboutot S. (2009). *Evaluation of soil contamination by explosives and metals at the Land Force Central Area Training Centre (LFCA TC) Meaford, Ontario (Phase I)*. Technical Report DRDC Valcartier TR 2008-390, Defence Research Establishment Valcartier, 104 p.
- ATSDR (1992). *Toxicological Profiles for antimony and compounds*. Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Services, 136 p.
- ATSDR (2004). *Toxicological Profile for Copper*. US Department of Public Health and Human Services, Public Health Service, 582 p.
- ATSDR (2005). *Toxicological Profile for Zinc (Update)*. US Department of Public Health and Human Services, Public Health Service, 307 p.
- ATSDR (2007). *Toxicological Profile for Lead*. US Department of Public Health and Human Services, Public Health Service. 582 p.
- Bastien I. (2012). *Outil de prise de décision en développement durable pour les municipalités du Québec*. Essai, maîtrise en environnement, Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, 215 p.
- Bordeleau G. (2012). *Atténuation naturelle de la Nitroglycérine provenant de résidus de propulsifs*. Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement, 265 p.
- Brochu S., Diaz E., Thiboutot S., Ampleman G., Marois A., Gagnon A. (2009). *Environmental Assessment of 100 years of military training at Canadian Forces Base Petawawa, Phase 1 Study of the Presence of Munitions-Related Residues in Soils and Vegetation of Main Ranges and Training Areas*. Technical Report DRDC Valcartier TR 2008-118, Defence Research Establishment Valcartier, 122 p.
- Brochu S., Poulin I., Faucher D., Diaz E., Walsh M.R. (2011a). *Environmental Assessment of Small Arms Live firing : Study of Gaseous and Particles Residues*. Technical report, p. 29-47

- Brochu, S., Thiboutot, S., Ampleman, G., Diaz, E., Poulin, I., Martel, R. (2011b). Chapter 3, *Canadian Approach to the Environmental Characterization and Risk Assessment of Military Training*. Defence R&D Canada Valcartier et l'Institut national de la recherche scientifique Eau, terre et environnement, DRDC-VALCARTIER-SL-2011, p. 49-76.
- Cacard B. (2004). *La mortalité du chevreuil (capreolus capreolus) en France*. 170 p.
- Canadian American Strategic Review (CASR) (s.d.). *Canadian Forces, Land Forces Equipment & Vehicles*. DND 101 Army, <http://www.casr.ca/101-army-index.htm> (Page consultée le 28 avril 2013).
- CCME (1997). *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols concernant le cuivre : Environnement et santé humaine*. http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1271_fr.pdf (Page consultée le 23 mai 2013).
- CCME (1999a). *Plomb 1999*. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine, 10 p.
- CCME (1999b). *Cuivre 1999*. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine, 8 p.
- CCME (1999c). *Zinc 1999*. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine, 7 p.
- CCME (2008). *Recommandations pour la qualité des eaux au Canada*. 1717 p.
- CCME (s.d.). *Tableau sommaire des recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*. <http://st-ts.ccme.ca/> (Page consultée le 23 mai 2013).
- Centre for Disease Control and Prevention (2005). *Nitroglycerine*. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0456.html> (Page consultée le 21 mai 2013).
- Défense nationale (1999a). *DOAD 4003-0, Protection et gérance de l'environnement*. <http://www.admfincs-smafinms.forces.gc.ca/dao-doa/4000/4003-0-fra.asp> (Page consultée le 1 avril 2013).
- Défense nationale (1999b). *DOAD 4003-2, Évaluation environnementale*. <http://www.admfincs-smafinms.forces.gc.ca/dao-doa/4000/4003-2-fra.asp> (Page consultée le 6 avril 2013).
- Défense nationale (2001). *Training Canada's Army, B-GL-300-008/FP-001*. 161 p.
- Défense nationale (2006). *La Stratégie de développement durable de la Défense nationale : 4^e version*. 40 p.
- Défense nationale (2008). *Le Système de gestion environnementale de la Défense nationale, niveau national*. 52 p.
- Défense nationale (2009a). *Stratégie de défense, le Canada d'abord*. http://www.forces.gc.ca/site/pri/first-premier/June18_0910_CFDS_French_low-res.pdf (Page consultée le 14 avril 2013).
- Défense nationale (2012a). *Rapport sur les plans et priorités 2012-2013*. 69 p.

- Défense nationale (2009b). *Construction et maintenance des champs de tir*. 434 p.
- Défense nationale (2012b). *Caractérisation des champs de tir et des secteurs d'entraînement*. Directeur de l'environnement de la Force terrestre, 149 p.
- Défense nationale (2012c). *Ministère de la Défense nationale - Rapport ministériel sur le rendement 2011-2012, Section I*. [http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-rapports-pubs-performance-ministerielle/2012-table-matieres.page?](http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-rapports-pubs-performance-ministerielle/2012-table-matieres.page) (Page consultée le 14 avril 2013)
- Défense nationale (2012d). *Architecture des activités de programme Structure de gestion, des ressources et des résultats incluant l'Architecture des activités de programme*. <http://www.tbs-sct.gc.ca/rpp/2011-2012/inst/dnd/dnd-fra.pdf> (Page consultée le 14 avril 2013).
- Défense nationale (2013a). *À notre sujet*. <http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-de-nous.page> (Page consultée le 10 juillet 2013).
- Défense nationale (2013b). *Les opérations des Forces armées canadiennes à l'étranger*. [http://www.forces.gc.ca/fr/operations-etranger/index.page?](http://www.forces.gc.ca/fr/operations-etranger/index.page) (Page consultée le 20 avril 2013).
- Défense nationale (2013c). *Sous-ministre adjoint (Infrastructure et environnement)*. [http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-structure-org/sous-ministre-adjoint-infrastructure-et-environnement.page?](http://www.forces.gc.ca/fr/a-propos-structure-org/sous-ministre-adjoint-infrastructure-et-environnement.page) (Page consultée le 19 mai 2013).
- Défense nationale (2013d). *Retour victorieux de l'équipe de tir de combat des Forces canadiennes*. <http://www.army-armee.forces.gc.ca/fr/nouvelles-publications/atlantique-nouvelles-details.page?doc=retour-victorieux-de-l-rsquo-eacute-quipe-de-tir-de-combat-des-forces-canadiennes/hiy8sf8n> (Page consultée le 15 juillet 2013).
- Défense nationale (s.d.). *La mission de Forces canadiennes*. <http://www.forces.ca/fr/page/mission-74> (Page consultée le 6 avril 2013).
- Department of Environment and Heritage (2003). *National Dioxins Program Proposed Risk Assessment Methodology Discussion paper*. Australian Government, <http://www.environment.gov.au/settlements/publications/chemicals/dioxins/pubs/methodology.pdf> (Page consultée le 17 juin 2013).
- Diaz E., Brochu S., Thiboutot S., Ampleman G., Marois A., Gagnon A. (2008), *Energetic materials and metals contamination at CFB/ASU Wainwright, Alberta, Phase I*. Technical Report DRDC Valcartier TR 2007-385, Defence Research Establishment Valcartier, 143 p.
- Environnement Canada (2010). *La stratégie fédérale de développement durable du Canada*. http://www.ec.gc.ca/dd-sd/F93CD795-0035-4DAF-86D1-53099BD303F9/FSDS_fr.pdf (Page consultée le 19 mai 2013).
- Environnement Canada (2011). *Données préliminaires de l'Inventaire national des rejets de polluants (INRP) pour 2011*. http://www.ec.gc.ca/pdb/websol/querysite/query_f.cfm (Page consultée le 25 janvier 2013).
- Eilser R. (1993). *Zinc hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review*. Contaminant Hazard Reviews April 1993 Report 26, US Department of the Interior Fish and Wildlife Service, http://www.pwrc.usgs.gov/infobase/eilser/CHR_26_Zinc.pdf (Page consultée le 13 juin 2013).

- Facebook (s.d.). *Cape Breton Highlanders*. <https://www.facebook.com/pages/Cape-Breton-Highlanders/180079042025197>, (Page consultée le 28 août 2013).
- Google Map[®] (s.d.a). *Photo aérienne du Centre national d'instruction d'été des cadets de l'Armée de Connaught*. <https://maps.google.ca/maps?hl=fr&tab=wl> (Page consultée le 18 août 2013).
- Google Map[®] (s.d.b). *Photo aérienne d'un champs de tir d'armes légères de la base des Forces canadiennes de Farnham*. <https://maps.google.ca/maps?hl=fr&tab=wl> (Page consultée le 18 août 2013).
- Google Map[®] (s.d.c). *Photo aérienne du champ de tir Myriam Bédard*. <https://maps.google.ca/maps?hl=fr&tab=wl> (Page consultée le 18 août 2013).
- Google Map[®] (s.d.d). *Photo aérienne rapprochée du champ de tir Alpha base des Forces canadiennes de Meaford*. <https://maps.google.ca/maps?hl=fr&tab=wl> (Page consultée le 18 août 2013).
- Google Map[®] (s.d.e). *Photo aérienne éloignée, Distance du champ de tir Alpha base des Forces canadiennes de Meaford*. <https://maps.google.ca/maps?hl=fr&tab=wl> (Page consultée le 18 août 2013).
- Gormley A., Pollard S., Rocks S. (2011). *Guidelines for Environmental Risk Assessment and Management, Green Leaves III*. Department for Environment Food & Rural Affairs (DEFRA), United Kingdom, 80 p.
- Hardison D. W. Jr., Ma, L.Q., Luongo, T., Harris, W.G. (2004). *Lead contamination in shooting range soils from abrasion of lead bullets and subsequent weathering*. *Science of Total Environment*, 328 (2004)175-183, <http://www.cdc.gov/nceh/lead/acclpp/SupplementalOct04/Lead%20Contamination%20in%20Shooting%20Range%20Soils-Hardison.pdf> (Page consultée le 27 mai 2013).
- Heath J.C., Karr L., Novstrup, V.; Nelson, B.; Ong, S. K., Aggarwal P., Means J., Pomeroy S., Clark S. (1991). *Environmental Effects of Small Arms Ranges*. 74 p.
- ICSC (2005a). *Nitroglycerin*. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0186.html>, (Page consultée le 27 mai 2013).
- ICSC (2005b). *Dinitrotoluene*. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0465.html>, (Page consultée le 27 mai 2013).
- INRS (2006). *Plomb et composés minéraux*. Fiche toxicologique, FT 59 http://www.millennium-environnement.com/millennium_environnement/toxicologie-plomb.pdf (Page consultée le 6 juin 2013)
- ITRC (2003). *Characterization and Remediation of Soils at Closed Small Arms Firing Ranges*. Technical/Regulatory Guidelines, <http://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/SMART-1.pdf> (Page consultée le 19 avril 2013).
- ITRC (2005), *Environmental Management at Operating Outdoor Small Arms Firing Range*. http://www.itrcweb.org/gd_smart.asp, (Page consultée le 23 mai 2013).

- Laporte-Saumure M. (2010). *Caractérisation de sites de tir à l'arme légère militaires canadiens, enlèvement des métaux et suivi hydrogéologique des contaminants*. Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique Centre Eau Terre Environnement, 266 p.
- Larousse, Dictionnaire de français, (s.d.). *Érosion*.
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9rosion/30819/locution?q=%C3%A9rosion#318033> (Page consultée le 23 juillet 2013).
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, 1999. L.C. 1999, ch. 33.
- Loi canadienne sur l'évaluation environnementale*, 2012, L.C. 2012, ch. 19, art. 52.
- Loi constitutionnelle de 1867*, (R-U), 30 et 31 Vict, c 3.
- Loi de 1994 sur la convention concernant les oiseaux migrateurs*, 1994. L.C. 1994, ch. 22.
- Loi fédérale sur le développement durable*, L.C. 2008, ch. 33.
- Loi sur les espèces en péril*, 2002. L.C. 2002, ch. 29.
- Loi sur les pêches*, 1985, L.R.C. 1985, ch. F-14. art. 1.
- Marois A., Gagnon A., Thiboutot S., Ampleman G., Bouchard M. (2004). *Caractérisation des sols de surface et de la biomasse dans les secteurs d'entraînement, Base des Forces canadiennes, Valcartier*. Rapport technique DRDC Valcartier TR 2004-206, 171 p.
- Marseille F. et Denot A. (2007). *Mobilité et biodisponibilité des contaminants présents dans les sols aux abords des infrastructures et impact sur la santé*. Rapport intermédiaire, n° procert 52311 – 11, Centre d'étude technique (CETE) de Lyon
http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/1282/CERTU-RE_07-21.pdf?sequence=2 (Page consultée le 28 mai 2013).
- Martel R. et Bordeleau G. (2007), *Groundwater and surface water study for potential contamination by energetic materials, metals and related compounds at CFB Gagetown*. Research Report No R-938, Centre for Water, Earth and Environment National Institute for Scientific Research), University of Québec, 53 p.
- Martel R., Comeau G., Brochu S. (2008a). *Groundwater and surface water study for potential contamination by energetic materials, metals and related compounds at the Canadian Forces Base Petawawa (Ontario), phase IV report*. Research Report N° R-1035, National Institute for Scientific Research Centre for Water, Earth and the Environment, 147 p.
- Martel R., Uta G., Lahcen A.S., Ross M., Parent M., Diaz E. (2008b). *Evaluation of surface and ground water quality at the WATC, Wainwright, Alberta, Phase III*. Research Report R-980, National Institute for Scientific Research-Centre for Water, Earth and the Environment, 139 p.
- Martel R., Bouliane V., Thiboutot S. (2009a). *Environmental fate of munition residues, characterisation of groundwater in the training areas of Valcartier garrison (Quebec), Phase II*. National Institute for Scientific Research Centre for Water, Earth and the Environment, 137 p.

- Martel R., Francoeur-Leblond N., Parent M., Paradis S. (2009b). *Groundwater and surface water study for potential contamination by energetic materials, metals and related compounds at the land forces central area training centre (LFCA TC) Meaford, phase II report*. Research report No R-1064, 219 p.
- Massachusetts Army National Guard (2007). *Pollution Prevention Overview (Small Arms Range Supplement)*. Prepared by URS Corporation, 320 p.
- MDDEP (2002). *Guide de réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement*. http://www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/guide_realisation/ (Page consultée le 4 juin 2013).
- Moran, M. P., Ott D.K. (2008). *Lead free frangible ammunition exposure at United States AirForce small arms firing ranges, 2005 – 2007*. United State Air Force, AFIOH, <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA487506> (Page consultée le 8 juillet 2013).
- National Defence (2007). B-GL-382-001/FP-001 *Canadian Forces Operational Shooting Programme (CFOSP)*. 311 p.
- National Defence (2013). *Defence Environmental Strategy*. 14 p
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)(2011). *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, Dinitrotoluene*. <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0235.html> (Page consultée le 28 mai 2013).
- National Research Council (2012). *Potential health risks to DOD firing-range personnel from recurrent lead exposure*. http://www.eenews.net/assets/2012/12/04/document_daily_01.pdf (page consultée le 25 juin 2013).
- National Shooting Sports Foundation (NSSF) (1997). *Environnemental aspects of construction and management of outdoor shooting ranges*. 125 p.
- Nations Unis (1999). *Rapport sur du groupe d'experts sur le problème des munitions et explosifs*. <http://www.poa-iss.org/CASAUUpload/ELibrary/Ammo%20Fr.pdf> (Page consultée le 28 avril 2013).
- Nations Unies (2008). *Guide pratique Législation sur les armes légères et de petit calibre*. Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), http://www.poa-iss.org/kit/SALW%20Legislation_FRE_web.pdf (Page consultée le 7 mai 2013).
- Office québécois de la langue française (2013). *Vocabulaire du développement durable, durabilité*. http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie_deve_durable/fiches/index.html (Page consultée le 11 juin 2013).
- Office fédéral du développement territorial (ARE) (2004). *Guide des outils d'évaluation de projet selon le développement durable*. 98 p.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (2012). *Copper fume (as Cu)*. United States Department of Labour, https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_229400.html, (Page consultée le 21 juillet 2013).

- Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (s.d.). *Toxic and hazardous substances, Lead*.
https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=10030 (Page consultée le 19 juillet 2013).
- Ontario, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (2010). *Empoisonnement chronique au cuivre chez les ovins*. <http://www.omafra.gov.on.ca/french/livestock/sheep/facts/health-copper.htm> (page consultée le 11 juin 2013)
- Passerelle pour l'histoire militaire canadienne (2011). *Tome 3 (1872 – 2000), Chapitre 1 : Une défense quasi autonome (1871-1898)*. <http://www.cmhg.gc.ca/cmh/page-544-fra.asp?flash=1> (Page consultée le 17 mars 2013).
- Pêches et océans Canada (2013). *La Loi sur les pêches*. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/habitat/role/141/1415/14151-fra.htm> (Page consultée le 16 mai 2013).
- Québec. Secrétariat du (2003). *Guide sur les indicateurs, Modernisation de la gestion publique*. http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/publications/guide_indicateur.pdf (Page consultée le 23 juillet 2013).
- Règlement désignant les activités concrètes*, (2012), DORS/2012-147.
- Règlement sur l'exportation et l'importation de déchets dangereux et de matières recyclables dangereuses*, (2005), DORS/2005-149.
- Règlement sur les refuges d'oiseaux migrants*, (2013). C.R.C., ch. 1036.
- Robidoux, P.Y., Lachance, B., Didillon, L., Dion., F.O. and Sunahara, G.I. (2006), *Development of Ecological and Human Health Preliminary Soil Quality Guidelines for Energetic Materials to Ensure Training Sustainability of the Canadian Forces*. NRC report # 45936, National Research Council of Canada, Montréal. 170 p.
- RUAG Defence and Law Enforcement (2013), *5.56 x 45 Full metal jacket ammunition*. http://www.ruag.com/en/Ammotec/Defence_and_Law_Enforcement/5.56x45___223_Rem./Full_metal_jacket_ammunition (Page consultée le 28 mai 2013).
- Santé Canada (1979). *Le zinc*. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/zinc/index-fra.php> (Page consultée le 11 juin 2013).
- Santé Canada (1992). *Cuivre*. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/copper-cuivre/index-fra.php> (Page consultée le 10 juin 2013).
- Santé Canada (1997). *La qualité de l'eau et de la santé, Antimoine*. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/antimony-antimoine/index-fra.php> (Page consultée le 10 juin 2013).
- Santé Canada (2012). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, tableau sommaire*. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/2012-sum_guide-res_recom/index-fra.php#t1 (Page consultée le 30 mai 2013).
- Santé Canada (2013a). *Stratégie de gestion des risques pour le plomb*. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/contaminants/prms_lead-psgr_plomb/prms_lead-psgr_plomb-fra.pdf (Page consultée le 24 avril 2013).

- Santé Canada (2013b). *Rapport final sur l'état des connaissances scientifiques concernant les effets du plomb sur la santé humaine*. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/dhhssrl-rpecsceph/index-fra.php> (Page consultée le 28 avril 2013).
- Shere T. (2010), *Mobility and transport of heavy metals in polluted soil environment*. Biological Forum, An International Journal, 2(2) : p. 112-12, <http://researchtrend.net/bf22/24%20T%20SHRENE.pdf> (Page consultée le 28 mai 2013).
- Thiboutot S., Ampleman G., Ballard J.M, Faucher D., Downe S., Jenkins T. F., Lewis J., Marois A., Martel R. (2003). *Environmental Conditions of Surface Soils and Biomass Prevailing in the Training Area at CFB Gagetown, New Brunswick*. Defence Research and Development Canada Valcartier Technical Report DRDC Valcartier TR 2003-152, 73 p.
- Thiboutot S., Ampleman G., Marois A., Gagnon A. (2008). *Caractérisation des sols de surface du champ de tir et secteurs d'entraînement de la garnison Valcartier*. Rapport technique DRDC Valcartier TR 2008-190, 44 p.
- Thiboutot S., Ampleman G., Brochu S., Poulin I., Marois A., Gagnon A. (2012). *Sampling for Munition Residues in Military Live-Fire Training Ranges Canadian Protocol*. Technical Report DRDC Valcartier TR 2011-447, Defence R&D Canada Valcartier, 123 p.
- Transports Canada (2010). *Matrice des risques*. <http://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/normes/generale-formation-sgs-trousse-partieiii-matrice-467.htm> (Page consultée le 12 juin 2013)
- Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2013). *Tir réel*. Bureau de la traduction, Termium plus. http://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-eng.html?lang=eng&i=1&index=alt&__index=alt&srchtxt=TIR+REEL&comencsrch.x=5&comencsrch.y=9, (Page consultée le 28 juillet 2013)
- USACHPPM, (2007). *Wildlife Toxicity Assessment for nitroglycerin (NG)*. <http://usaphcapps.amedd.army.mil/erawg/tox/files/WTA%28NG07%29FINAL.pdf> (Page consultée le 21 mai 2013).
- U.S. Department of Health and Human Services (U.S. HHS) (2005). *Toxicological profile for zinc*. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp60.pdf> (page consultée le 11 juin 2013).
- US EPA (1980). *Ambient water quality criteria for zinc*, http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/upload/AWQC-for-Zinc_1980.pdf (Page consultée le 12 juin 2013).
- US EPA (2005). *Best Management Practices for Lead at Outdoor Shooting Ranges*. EPA-902-B-01-001 Revised June 2005 Region 2, 103 p.
- US EPA (2007). *Framework for Metals Risk Assessment*. <http://www.epa.gov/raf/metalsframework/pdfs/metals-risk-assessment-final.pdf>, (Page consultée le 18 juin 2013).
- US EPA (2008a). *Drinking Water Health Advisory for 2,4-Dinitrotoluene and 2,6-Dinitrotoluene*. http://www.epa.gov/safewater/ccl/pdfs/reg_determine2/healthadvisory_ccl2-reg2_dinitrotoluenes.pdf (Page consultée le 27 mai 2013).

- US EPA (2008b). *US Environmental Protection Agency Office of Pesticide Programs, Copper Facts*.
http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/factsheets/copper_red_fs.pdf, (Page consultée le 11 juin 2013)
- US EPA (2010). *Screening level hazard characterization, nitroglycerin (CASRN 55-63-0)*.
http://www.epa.gov/chemrtk/hpvis/hazchar/55630_%20Nitroglycerin_September_2010.pdf,
(Page consultée le 20 juin 2013)
- US EPA (2012a). *2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories*.
<http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/dwstandards2012.pdf>, (Page consultée le 27 mai 2013)
- US EPA (2012b). *2,4-Dinitrotoluene (CASRN 121-14-2)*. <http://www.epa.gov/iris/subst/0524.htm>,
(Page consultée le 24 juin 2013)
- US EPA (2012c). *Technical Fact Sheet –Dinitrotoluene (DNT)*.
http://www.epa.gov/fedfac/pdf/technical_fact_sheet_dnt_january2013.pdf, (Page consultée le 24 juin 2013)
- US EPA (s.d.). *Technical Factsheet on copper*.
<http://www.epa.gov/safewater/pdfs/factsheets/ioc/tech/copper.pdf>, (Page consultée le 11 juin 2013).
- Yang J. L., Hu T. J., Lee H. Y. (2010). *Sublethal Antimony (III) Exposure of Freshwater Swamp Shrimp (Macrobrachium Nipponense): Effects on Oxygen Consumption and Hepatopancreatic Histology*. *J. Water Resource and Protection*, 2010, 2, p. 42-47

ANNEXE 1 – EXPLICATIONS ET DÉTAILS RELATIFS AU QUESTIONNAIRE DE MESURE DE LA DURABILITÉ DES CHAMPS DE TIR D'ARMES LÉGÈRES

Partie 1 Question G.1	Quel est le niveau de précipitation annuelle en mm/par année?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la quantité de précipitation. Moins la précipitation est élevée plus le pointage est élevé. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Millimètre (mm)
Indicateur	Cet indicateur mesure la quantité de précipitation annuelle (pluie et neige) pour la ville où le champ de tir d'armes légères est situé.
Impacts sur la durabilité	La quantité de précipitations annuelles contribue à augmenter les risques associés au transport des contaminants par l'érosion, la sédimentation, le ruissellement et la lixiviation.
Partie 1 Question G.2	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement du champ de tir d'armes légères demeure à l'intérieur de la propriété du ministère de la Défense nationale?
Pointage	Le maximum de points est accordé si les eaux de ruissellement demeurent à l'intérieur de la propriété du ministère de la Défense nationale. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.
Indicateur	Cet indicateur vise à établir si le drainage naturel des eaux d'un champ de tir d'armes légères s'échappe à l'extérieur des limites de la base militaire canadienne. Cet indicateur peut être mesuré à vue suite à de fortes précipitations, par l'établissement du bassin versant ou encore par photo satellite.

Impacts sur la durabilité	La migration des contaminants à l'extérieur de la limite de la propriété d'une base militaire des Forces canadiennes a un impact négatif important sur la durabilité des champs de tir d'armes légères. Le ruissellement peut transporter les contaminants et nuire au public (population) vivant à proximité des bases militaires. Les eaux de ruissellement contenant des contaminants pourraient aussi nuire à la faune et l'habitat du poisson.
Partie 1 Question G.3	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement demeure à l'intérieur du champ de tir d'armes légères?
Pointage	Le maximum de points sera accordé si les eaux de ruissellement demeurent à l'intérieur du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Les limites du champ de tir d'armes légères.
Indicateur	Cet indicateur vise à déterminer si le drainage naturel des eaux d'un champ de tir d'armes légères migre vers les cours d'eau situés à proximité.
Impacts sur la durabilité	La migration des contaminants à l'extérieur de la limite du champ de tir d'armes légères peut avoir un impact négatif important s'il y a contamination de la faune et de l'habitat du poisson.
Partie 1 Question G.4	Quelle est la distance du cours d'eau, du lac ou du marais le plus près?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la distance du cours d'eau le plus près. Plus le cours d'eau est éloigné plus le pointage est élevé. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Kilomètre et en mètre.

Indicateur	Cet indicateur mesure le risque de contamination d'un plan d'eau. Plus un plan d'eau est situé près d'un champ de tir d'armes légères plus le risque de contamination est élevé.
Impacts sur la durabilité	La migration des contaminants dans les plans d'eau a un impact négatif important sur la durabilité des champs de tir d'armes légères, car cela peut nuire à la faune et à l'habitat du poisson.
Partie 1 Question G.5	Quelle est la distance du puits d'eau potable (non traité) le plus près utilisé pour la consommation humaine ou animale?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la distance du puits d'eaux potables non traitées le plus près. Plus le puits d'eau potable est éloigné plus le pointage est élevé. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Kilomètre et en mètre.
Indicateur	La distance du puits d'eau potable non traitée le plus près du champ de tir d'armes légères.
Facteur mesuré	Cet indicateur mesure le risque que les contaminants migrent dans l'eau souterraine. La migration des contaminants dans l'eau souterraine peut avoir un impact négatif important sur la durabilité des champs de tir d'armes légères. L'eau contaminée peut nuire à la santé humaine et à la faune.
Partie 1 Question G.6	Quel est le type de sol du champ de tir d'armes légères?
Pointage	Les points sont accordés en fonction du type de sol. L'argile recevant le plus grand nombre de points et le sable le moins de points. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.

Indicateur	Le type de sol influence la vitesse à laquelle le contaminant peut migrer dans les eaux souterraines. Plus le sol est argileux plus le mouvement de l'eau souterraine est lent (US EPA, 2005). De plus, l'argile a une grande capacité d'échange ou d'absorption d'ions qui permet le maintien du plomb en surface du sol (US EPA, 2005).
Impacts sur la durabilité	Comme mentionnée à la question G.5, la migration des contaminants dans l'eau souterraine peut avoir un impact négatif important sur la santé humaine et les fermes d'élevage qui utilisent l'eau souterraine située aux abords d'un champ de tir d'armes légères.
Partie 1 Question G.7	Est-ce qu'il y a des espèces en péril, en voie de disparition, menacées et/ou préoccupantes sur ou aux abords du champ de tir?
Pointage	Le pointage maximum est accordé s'il n'y a pas d'espèces en péril aux abords du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable
Indicateur	La liste des espèces en péril situées sur ou aux abords des champs de tir d'armes légères.
Facteur mesuré	Cet indicateur estime la probabilité que les contaminants d'un champ de tir d'armes légères puissent nuire à l'habitat critique ou les espèces en péril. Cet indicateur peut être déterminé en consultant l'inventaire des espèces vivant sur la base militaire et/ou en effectuant des relevés de la faune aux abords du champ de tir d'armes légères.
Impacts sur la durabilité	Les contaminants peuvent avoir un impact négatif sur les espèces en péril et leurs habitats. Les espèces en péril sont protégées par la loi.

Partie 1 Question G.8	Est-ce que les oiseaux migrateurs utilisent ou nichent sur ou aux abords du champ de tir d'armes légères?
Pointage	Le maximum de points est accordé s'il n'y a pas d'oiseaux migrateurs qui utilisent ou nichent sur ou aux abords du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.
Indicateur	Cet indicateur mesure la probabilité que l'habitat de l'oiseau migrateur soit contaminé. Ainsi, plus un habitat de l'oiseau migrateur est situé à proximité d'un champ de tir d'armes légères plus le risque d'interaction et d'effet néfaste augmente.
Impacts sur la durabilité	La migration des contaminants peut avoir un impact négatif sur l'habitat des oiseaux migrateurs.
Partie 2 Question P.1	Est-ce que la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 600 mg/kg?
Pointage	Tous les points sont accordés si la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 600 mg/kg. Si la concentration est plus élevée que 600 mg/kg, le pointage est de zéro. L'utilisateur du questionnaire doit, dans ce cas, procéder aux questions P.2 à P.4. de la Partie 2 du questionnaire. Si la réponse est « oui », autrement dit, que la concentration est inférieure à 600 mg/kg, le pointage de 100 est alloué et l'utilisateur passe à la Partie 3 du questionnaire.
Unité de mesure	Concentration de plomb en mg/kg.
Indicateur	Cet indicateur détermine le risque associé à la concentration de plomb retrouvée dans la butte de tir. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire d'échantillons de sols.

Impact sur la durabilité	Une concentration de plomb moins élevée que le niveau industriel de 600 mg/kg établie par le CCME a peu d'effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.
Partie 2 Question P.2	Quelle est la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt?
Pointage	Le pointage est alloué selon la concentration du plomb dans le sol de la butte d'arrêt. Le pointage le plus élevé est de 70 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Concentration de plomb en mg/kg.
Indicateur	Cet indicateur détermine le risque selon la concentration de plomb retrouvée dans la butte d'arrêt. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire d'échantillons de sols.
Impact sur la durabilité	Une concentration de plomb plus élevée que le niveau industriel de 600 mg/kg établie par le CCME peut avoir des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Plus la concentration de plomb retrouvée dans le sol augmente plus le risque d'impact augmente.
Partie 2 Question P.3	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau souterraine située à proximité du champ de tir d'armes légères?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la concentration de plomb dans l'eau souterraine à proximité du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Concentration de plomb dans l'eau en µg/L.
Indicateur	La détection de plomb dans l'eau souterraine indique que le plomb n'est pas retenu à la surface du sol et qu'il migre dans l'eau souterraine. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire des échantillons d'eaux souterraines.

Impacts sur la durabilité	Une concentration de plomb plus élevée 10 µg/L dans l'eau souterraine a un impact élevé sur la santé humaine lorsque l'eau souterraine est une eau de consommation.
Partie 2 Question P.4	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau de surface située à proximité du champ de tir d'armes légères?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la concentration de plomb dans l'eau de surface aux abords du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Concentration de plomb en µg/L
Indicateur	Cet indicateur vise à mesurer si les concentrations de plomb dépassent les recommandations du CCME concernant la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire des échantillons d'eau de surface.
Impacts sur la durabilité	La contamination par le plomb de l'eau de surface peut causer des effets négatifs sur la faune et l'habitat du poisson.
Partie 3 Question C.1	Est-ce que la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 91 mg/kg?
Pointage	Tous les points sont accordés si la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 91 mg/kg. Le pointage est de 100 points et l'utilisateur passe directement à la Partie 4 du questionnaire. Par contre, si la concentration est plus élevée que 91 mg/kg aucun point n'est accordé et l'utilisateur doit procéder aux questions C.2 et C.3 de la Partie 3.
Unité de mesure	Concentration de cuivre en mg/kg.
Indicateur	Cet indicateur détermine le risque associé à la concentration de cuivre retrouvée dans la butte de tir. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire d'échantillons de sols.

Impact sur la durabilité	Une concentration de cuivre moins élevée que le niveau industriel de 91 mg/kg établie par le CCME a peu d'effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine.
Partie 3 Question C.2	Quelle est la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 70 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Concentration de cuivre en mg/kg.
Indicateurs	Cet indicateur détermine le niveau de risque lorsque la concentration de cuivre dans la butte de tir dépasse la concentration de cuivre de 91 mg/kg. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire des échantillons de sols.
Impacts sur la durabilité	Plus la concentration de cuivre augmente dans la butte d'arrêt et plus le risque d'exposition et d'effets négatifs augmente. Lorsque la butte de tir contient une concentration élevée de cuivre, la santé humaine et l'habitat du poisson peuvent être à risque.
Partie 3 Question C.3	Quelle est la concentration de cuivre détectée dans l'eau surface?
Pointage	Les points sont accordés en fonction de la concentration de cuivre dans l'eau de surface aux abords du champ de tir d'armes légères. Le pointage le plus élevé est de 10 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Concentration de cuivre en µg/L.
Indicateur	Cet indicateur vise à déterminer si les concentrations de cuivre dépassent les recommandations du CCME en ce qui a trait à la qualité des eaux pour la protection de la vie aquatique. Cet indicateur est mesuré par une analyse en laboratoire des échantillons d'eau de surface.

Impacts sur la durabilité	La migration de cuivre dans un habitat du poisson peut causer un impact négatif important sur la durabilité des champs de tir d'armes légères.
Partie 4 Question A.1	La butte d'arrêt est-elle recouverte de gazon ensemencé?
Pointage	Tous les points sont accordés si le champ de tir d'armes légères est recouvert de gazon. Le pointage le plus élevé est de 20 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.
Indicateur	Le gazon permet le contrôle de l'érosion et diminue le ruissellement lors de fortes précipitations (US EPA, 2005) et prévient ainsi la migration des contaminants à l'extérieur des champs de tir d'armes légères. Cet indicateur peut être mesuré à vue ou par photos aériennes.
Impacts sur la durabilité	Une butte d'arrêt sans végétation est plus sujette à l'érosion et à la migration des contaminants à l'extérieur des champs de tir d'armes légères. La migration des contaminants augmente le risque de contamination des cours d'eau et peut ainsi nuire à la faune et à l'habitat du poisson.
Partie 4 Question A.2	Quel est le potentiel hydrogène (pH) du sol de la butte d'arrêt?
Pointage	Tous les points sont accordés si le pH se situe entre 6,5 et 8,5. Le pointage le plus élevé est de 20 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	La valeur du pH dans le sol.
Indicateur	Cet indicateur vise à établir la mobilité du plomb dans l'environnement. Un pH idéal se situe entre 6,5 et 8,5 (US EPA, 2005) un pH plus bas ou plus élevé augmente la mobilité du plomb. Cet indicateur peut être mesuré en laboratoire.

Impacts sur la durabilité	Un pH trop bas ou trop haut peut augmenter la mobilité du plomb dans l'environnement et contaminer l'eau souterraine. Une concentration de plomb plus élevée que 10 µg/L dans l'eau souterraine a un impact élevé sur la santé humaine lorsque l'eau souterraine est une eau de consommation.
Partie 4 Question A.3	Quel est le pourcentage d'érosion sur la butte d'arrêt?
Pointage	Tous les points sont accordés si le pourcentage est inférieur à 40 % d'érosion. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.
Indicateurs	L'érosion du sol est le processus par lequel les particules de terre sont entraînées par le vent et l'eau (Larousse, s.d.). Dans le cas d'une butte d'arrêt, le processus d'érosion du sol est créé par l'impact des balles à la surface de la butte d'arrêt. Plus le sol de la surface de la butte d'arrêt est érodé plus les particules de sol contaminé sont facilement entraînées par le vent et l'eau de ruissellement à l'extérieur du champ de tir d'armes légères augmentant ainsi le risque de contamination des cours d'eau.
Impacts sur la durabilité	La contamination des cours d'eau par les sédiments a un impact direct sur la faune et l'habitat du poisson. Cet indicateur peut être mesuré à vue ou par photos.
Partie 4 Question A.4	À quelle profondeur se situe l'eau souterraine?
Pointage	Tous les points sont accordés si l'eau souterraine est plus profonde que 50 mètres. Le pointage le plus élevé est de 20 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Mètre.

Indicateur	Cet indicateur vise à mesurer le risque de contamination de l'eau souterraine circulant sous les champs de tir d'armes légères. Selon US EPA (2005), le risque de contamination de l'eau souterraine est inversement proportionnel à la profondeur de celle-ci. Ainsi, une eau souterraine profonde risque peu d'être contaminée. La profondeur de l'eau souterraine peut être déterminée par les puits d'observation situés dans les champs de tir d'armes légères.
Impact sur la durabilité	L'eau souterraine contaminée peut migrer à l'extérieur du champ de tir d'armes légères et même de la base militaire. La contamination de l'eau souterraine peut nuire à la santé humaine lorsque celle-ci est une eau de consommation.
Partie 4 Question A.5	Est-ce que le champ de tir d'armes légères est clôturé?
Pointage	Tous les points sont accordés si le champ de tir d'armes légères est clôturé. Le pointage le plus élevé est de 15 points et le plus bas de 0.
Unité de mesure	Non applicable.
Indicateur	Un champ de tir d'armes légères clôturé est une mesure de prévention destinée à empêcher la faune de se nourrir sur l'aire de tir et la butte d'arrêt.
Impact sur la durabilité	Un champ de tir non clôturé laisse libre accès à la végétation de la butte d'arrêt dont le sol peut être fortement contaminé de métaux lourds dont le plomb. La végétation ingérée par la faune peut causer des impacts négatifs.

ANNEXE 2 – TEST DE L’OUTIL, CHAMP DE TIR MYRIAM BÉDARD, BASE DES FORCES CANADIENNES DE VALCARTIER.

Base des Forces canadiennes de Valcartier, Champ de tir Myriam Bédard

Durabilité d'un champ de tir d'armes légères

Partie 1 - Indicateurs généraux de durabilité

G.1	Quel est le niveau de précipitation annuelle en mm/par année ?	0 à < 400	401 à < 800	801 à < 1 200	1 201 à < 1 600	1 601 à < 2 000	≥ 2 001	5
		15	12	10	5	2	0	

Cette région reçoit entre 1 201 à 2 000 mm de précipitation par année (Ressources naturelles Canada, 2009).

G.2	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement du champ de tir d'armes légères demeure à l'intérieur de la propriété du Ministère de la Défense nationale?	Oui	Non					15
		15	0					

Le champ de tir Myriam Bédard est entouré de boisés. La figure ci-dessous supporte cet énoncé.



Figure A2.1 : Champ de tir Myriam Bédard (tiré de Google Map[®], s.d.c)

G.3	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement demeure à l'intérieur du champ de tir d'armes légères ?	Oui	Non					10
		10	0					

Pour les mêmes raisons que la réponse de G.2, l'eau de ruissellement ne peut s'écouler à l'extérieur du champ de tir.

G.4	Quelle est la distance du cours d'eau, du lac ou du marais le plus près?	Plus de 4 Km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		15
		15	10	8	2	0		

Le cours d'eau le plus près est à plus de 4 km.

G.5	Quelle est la distance du puits d'eau potable (non traité) le plus près utilisé pour la consommation humaine ou animale ?	Plus de 4 Km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		15
		15	10	8	2	0		

La base de Valcartier traite l'eau souterraine, donc le puits d'eau potable non traitée le plus près est à plus de 4 km.

G.6	Quel est le type de sol du champ de tir d'armes légères ?	Argile	Limon	Sable				0
		10	5	0				

Le sol du champ de tir est en sable comme illustré dans la figure ci-dessous



Figure A2.2 : Sol du champ de tir Myriam Bédard (tiré de Thiboutot et autres, 2008, p. 26)

G.7	Est-ce qu'il y a des espèces en péril, en voie de disparition, menacées et/ou préoccupantes sur ou aux abords du champ de tir ?	Non	Oui					10
		10	0					

Il n'y a aucune espèce en péril aux abords du champ de tir.

G.8	Est-ce que les oiseaux migrateurs utilisent ou nichent sur ou aux abords du champ de tir d'armes légères ?	Non	Oui					10
		10	0					
Total								80%

Il n'y a aucun oiseau migrateur aux abords du champ de tir.

Partie 2 - Indicateurs - Plomb

P.1	Est-ce que la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 600 mg/kg ? Si la réponse est OUI , inscrire le pointage de 100 et passer à la Section du CUIVRE , si la réponse est NON veuillez répondre aux questions P.2 à P.4 ci-dessous.	Oui	Non					
		100	veuillez répondre aux questions ci-dessous					
P.2	Quelle est la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt ?	entre 600 et 3 000 mg/kg	entre 3 000 et 6 000 mg/kg	entre 6 000 et 9 000 mg/kg	entre 9 000 et 12 000 mg/kg	entre 12 000 et 15 000 mg/kg	15 000 et + mg/kg	
		70	60	50	30	10	0	

La concentration de plomb observée est de 50 000 mg/kg (Marois et autres, 2004).

P.3	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau souterraine située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 10 µg/l	> 10 µg/l				
		10	5	0				5

La concentration de plomb observée dans l'eau souterraine est de 0.17 µg/L (Martel et autres, 2009)

P.4	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau de surface située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 1 µg/l	> 1 µg/l				
		10	5	0				10
Total								15%

Il n'y a pas d'eau de surface aux abords du champ de tir (voir la figure A2.1 à la question G.2).

Partie 3 - Indicateurs - Cuivre

C.1	Est-ce que la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 91 mg/kg ? Si la réponse est OUI , inscrire le pointage et passer à la Partie 4 .	Oui	Non					
		100	veuillez répondre aux questions ci-dessous					100

La concentration de cuivre la plus élevée dans le sol de la butte de tir est de 19 mg/kg (Marois et autres, 2004)

Partie 4 - Indicateurs spécifiques de durabilité							
A.1	La butte d'arrêt est-elle recouverte de gazon ensemencé ?	Oui	Non				0
		20	0				

La butte d'arrêt n'est pas recouverte de végétation (voir la figure ci-dessous)



Figure A2.3 : Butte d'arrêt champ de tir Myriam Bédard (tiré de Thiboutot et autres, 2008, p. 25)

A.2	Quel est le potentiel hydrogène (pH) du sol de la butte d'arrêt ?	pH entre 6,5 et 8,5	pH < 6,5	pH > 8,5			20
		20	0	0			

Aucune étude ne discute du pH, tous les points ont été accordés.

A.3	Quel est le pourcentage d'érosion sur la butte d'arrêt ?	0-20 %	20-40 %	> 40%			0
		20	12	0			

La butte d'arrêt est érodée à plus de 40 % (voir la figure A2.3).

A.4	À quelle profondeur se situe l'eau souterraine ?	> 50m	> 40 m	> 30 m	> 20 m	> 10 m	0 à 10 m	20
		20	16	12	8	4	0	

Cette donnée n'est pas disponible, le total des points est accordé.

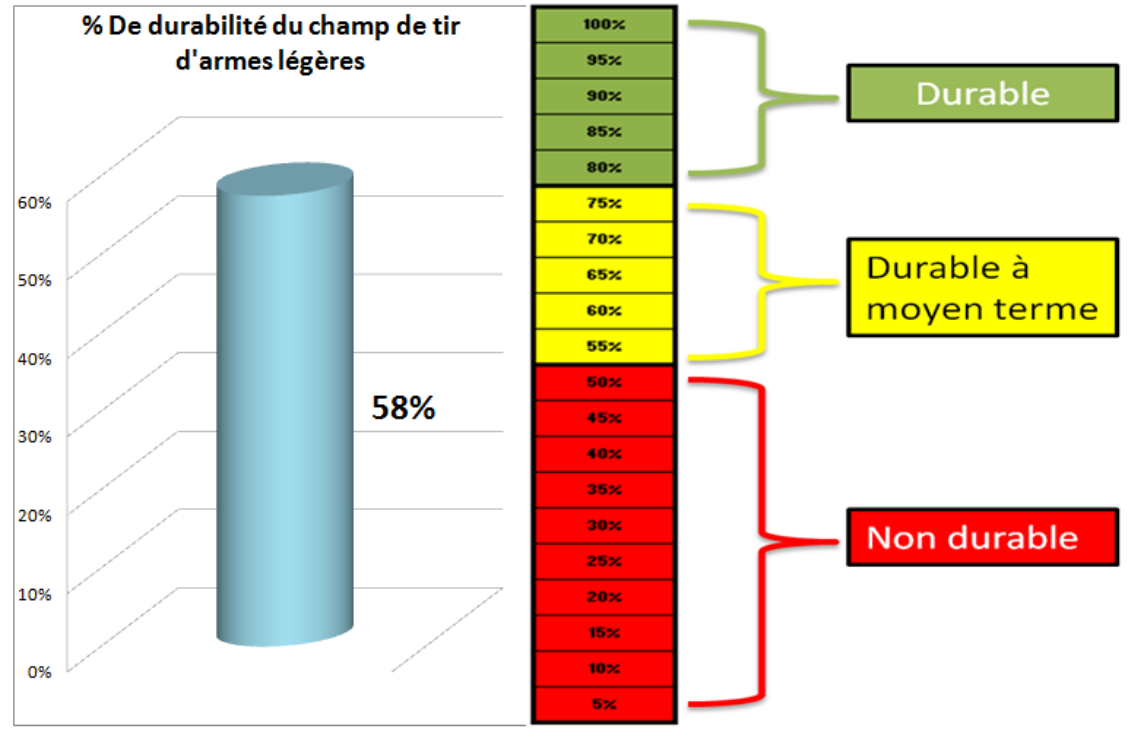
A.5	Est-ce que le champ de tir d'armes légères est clôturé pour prévenir la faune de s'y aventurer?	Oui	Non					
		10	0					0
Total								40%

Il n'y a pas de clôture autour du champ de tir Myriam Bédard (Thiboutot et autres, 2008)

Partie 5 - Résultats finaux de la durabilité

	Coefficient Pondération	% De durabilité
Partie 1. Indicateurs généraux de durabilité:	0.25	20%
Partie 2. Indicateurs - Plomb:	0.30	5%
Partie 3. Indicateurs - Cuivre:	0.25	25%
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité:	0.20	8%

Total 58%



ANNEXE 3 – TEST DE L’OUTIL, CHAMP DE TIR ALPHA, BASE DES FORCES CANADIENNES DE MEAFORD.

Base des Forces canadienne de Meaford, Champ de tir Alpha

Durabilité d'un champ de tir d'armes légères

Partie 1 — Indicateurs généraux de durabilité

G.1	Quel est le niveau de précipitation annuelle en mm/par année ?	0 à < 400	401 à < 800	801 à < 1 200	1 201 à < 1 600	1 601 à < 2 000	≥ 2 001	10
		15	12	10	5	2	0	

Selon l’Atlas du Canada, les précipitations totales moyennes annuelles pour la région de Meaford sont entre 801 et 1 200 mm (Ressources naturelles Canada, 2009).

G.2	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement du champ de tir d'armes légères demeure à l'intérieur de la propriété du Ministère de la Défense nationale?	Oui	Non					15
		15	0					

Oui, car le champ de tir est entouré de boisés et il se situe à 1.75 km de la ligne de la propriété.



Figure A3.1 : Distance du champ de tir de la ligne de propriété (tiré de Google Map[®], s.d.e)

G.3	Est-ce que le drainage des eaux de ruissellement demeure à l'intérieur du champ de tir d'armes légères ?	Oui	Non					0
		10	0					

Aucun point ne fut accordé, car la figure A3.2 illustre dans le coin gauche supérieur de l'érosion, ce qui peut signifier que les eaux de drainage à l'avant de la butte de tir s'évacuent à cet endroit.



Figure A3.2 : Avant de la butte de tir du champ de tir Alpha (tiré de Google Map[®], s.d.d)

G.4	Quelle est la distance du cours d'eau, du lac ou du marais le plus près?	Plus de 4 km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		10
		15	10	8	2	0		

La figure A3.3 démontre que la distance du cours d'eau le plus près est à 2,5 km.



Figure A3.3 : Distance entre le champ de tir Alpha et un cours d'eau (tiré de Google Map[®], s.d.e)

G.5	Quelle est la distance du puits d'eau potable (non traité) le plus près utilisé pour la consommation humaine ou animale ?	Plus de 4 km	entre 2 et 4 km	entre 1 et 2 km	entre 500 m et 1 km	moins de 250 m		10
		15	10	8	2	0		

La figure A3.4 illustre une distance d'environ 1 650 mètres entre le champ de tir Alpha et la population qui utilise de l'eau potable. Il n'est pas possible de confirmer si cette eau est traitée ou non.

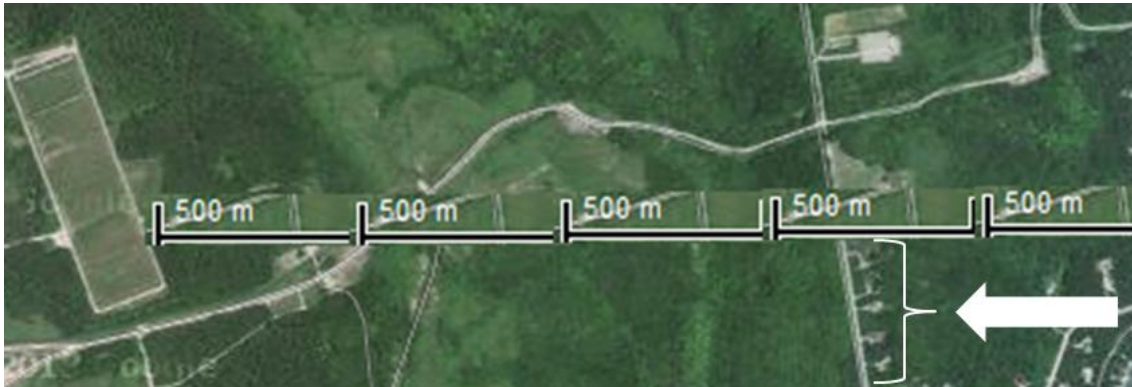


Figure A3.4 : distance entre le champ de tir Alpha et les utilisateurs d'eau de puits (tiré de Google Map[®], s.d.e)

G.6	Quel est le type de sol du champ de tir d'armes légères ?	Argile	Limons	Sable					
		10	5	0					5

Selon les observations de Martel et autres (2009b), la conductivité hydraulique du sol de 2.5×10^{-6} m/s correspond à la conductivité du limon. Pour cette raison, cinq (5) points ont été accordés.

G.7	Est-ce qu'il y a des espèces en péril, en voie de disparition, menacées et/ou préoccupantes sur ou aux abords du champ de tir ?	Non	Oui						
		10	0						10

Il n'y a aucune espèce en péril sur ou aux abords du champ de tir.

G.8	Est-ce que les oiseaux migrateurs utilisent ou nichent sur ou aux abords du champ de tir d'armes légères ?	Non	Oui						
		10	0						10
Total									70%

Il n'y a aucun oiseau migrateur sur ou aux abords du champ de tir.

Partie 2 — Indicateurs — Plomb

P.1	Est-ce que la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 600 mg/kg ? Si la réponse est <u>OUI</u> , inscrire le pointage de 100 et passer à la Section du <u>CUIVRE</u> , si la réponse est <u>NON</u> veuillez répondre aux questions P.2 à P.4 ci-dessous.	Oui	Non						
		<u>100</u>	veuillez répondre aux questions ci-dessous						

P.2	Quelle est la concentration de plomb dans le sol de la butte d'arrêt ?	entre 600 et 3000 mg/kg	entre 3000 et 6000 mg/kg	entre 6000 et 9000 mg/kg	entre 9 000 et 12 000 mg/kg	entre 12 000 et 15 000 mg/kg	15 000 et + mg/kg	
		70	60	50	30	10	0	60

La concentration de plomb dans la butte d'arrêt du champ de tir Alpha est de 6 140 kg/mg (Ampleman et autres, 2009)

P.3	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau souterraine située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 10 µg/l	> 10 µg/l				
		10	5	0				5

Une concentration de plomb dans l'eau souterraine < 1 µg/L a été observée par Martel et autres (2009b).

P.4	Quelle est la concentration de plomb détectée dans l'eau de surface située à proximité du champ de tir d'armes légères ?	Non détecté	Détecté, mais < 1 µg/l	> 1 µg/l				
		10	5	0				10
Total								75%

Aucune concentration de plomb n'a été observée par Martel et autres (2009b) dans les eaux de surface.

Partie 3 — Indicateurs — Cuivre

C.1	Est-ce que la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt est moins élevée que 91 mg/kg ?	Oui	Non					
	Si la réponse est OUI, inscrire le pointage et passer à la <u>Partie 4</u> .	100	veuillez répondre aux questions ci-dessous					

C.2	Quelle est la concentration de cuivre dans le sol de la butte d'arrêt ?	entre 91 et 200 mg/kg	entre 200 et 500 mg/kg	entre 500 et 1 000 mg/kg	entre 1 000 et 2000 mg/kg	entre 2 000 et 4 000 mg/kg	4 000 et + mg/kg	60
		70	60	50	30	10	0	

La concentration de cuivre observée dans la butte d'arrêt est de 227 mg/kg (Ampleman et autres, 2009)

C.3	Quelle est la concentration de cuivre détectée dans l'eau surface ?	Non détecté	Détecté, mais < 2 µg/l	> 2 µg/l				
		20	10	0				10
Total								70%

Une concentration de cuivre dans l'eau souterraine plus petite (<) que 1 µg/L a été observée par Martel et autres (2009b).

Partie 4 — Indicateurs spécifiques de durabilité

A.1	La butte d'arrêt est-elle recouverte de gazon ensemencé ?	Oui	Non					
		20	0					20

La figure A3.5 illustre que la butte d'arrêt est recouverte de végétation.



Figure A3.5 : Butte d'arrêt champ de tir Alpha (tiré de Ampleman et autres, 2009, p.32)

A.2	Quel est le potentiel hydrogène (pH) du sol de la butte d'arrêt ?	pH entre 6,5 et 8,5	pH < 6,5	pH > 8,5				20
		20	0	0				

Le pointage est accordé à cette question puisque les données sur le pH du sol pour le champ de tir Alpha ne sont pas disponibles.

A.3	Quel est le pourcentage d'érosion sur la butte d'arrêt ?	0- 20 %	20-40 %	> 40%				12
		20	12	0				

La figure A3.6 illustre que la butte d'arrêt est érodée entre 20 et 40 % de végétation.



Figure A3.6 : Pourcentage d'érosion de la butte d'arrêt Alpha (tiré de Ampleman et autres, 2009, p. 32)

A.4	À quelle profondeur se situe l'eau souterraine ?	> 50m	> 40 m	> 30 m	> 20 m	> 10 m	0 à 10 m	0
		20	16	12	8	4	0	

Martel et autres (2009b) ont mesuré l'eau souterraine à 3,42 mètres de profondeur au champ de tir Alpha.

A.5	Est-ce que le champ de tir d'armes légères est clôturé?	Oui	Non					0
		10	0					
							Total	52%

Le champ de tir n'est pas clôturé.

Partie 5 - Résultats finaux de la durabilité

	Coefficient Pondération	% De durabilité
Partie 1. Indicateurs généraux de durabilité:	0.25	18%
Partie 2. Indicateurs - Plomb:	0.30	23%
Partie 3. Indicateurs - Cuivre:	0.25	18%
Partie 4. Indicateurs spécifiques de durabilité:	0.20	10%

Total 68%

