

Acoustique des champs de tir

Table des matières

<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	IV
<i>LISTE DES FIGURES</i>	V
<i>À PROPOS</i>	VI
<i>RÉSUMÉ</i>	VII
1 INTRODUCTION	8
1.1 PHYSIQUE DU SON	8
1.1.1 L'onde sonore.....	8
1.1.2 La fréquence.....	9
1.1.3 La pression acoustique.....	9
1.1.4 Les niveaux de pression acoustiques : le décibel	9
1.1.5 La directivité	9
1.2 MÉCANISMES DE PRODUCTION DU SON	10
1.2.1 L'onde de choc	10
1.2.2 Les surfaces en vibration.....	10
1.3 CARACTÉRISTIQUES SONORES D'UNE ARME À FEU	10
1.4 PROPAGATION DU SON	13
1.4.1 La distance	13
1.4.2 L'effet de sol	13
1.4.3 L'absorption dans l'air.....	13
1.4.4 Les conditions atmosphériques, le vent et les inversions de température	13
1.5 SENSIBILITÉ DE L'OREILLE HUMAINE	14
1.6 MESURE DU SON	14
1.6.1 Les sons constants.....	14
1.6.2 Les sons variables dans le temps	16
1.6.3 Les sons impulsionnels	17
1.6.4 La mesure du bruit émis par une arme à feu.....	18
2 ÉTABLISSEMENT DU NIVEAU ACOUSTIQUE	19
2.1 PRINCIPES D'ÉTABLISSEMENT DE NIVEAUX ACOUSTIQUES DE RÉFÉRENCE	19
2.1.1 Établissement d'un niveau arbitraire	19
2.1.2 Utilisation du niveau acoustique ambiant comme point de référence	20
2.1.3 Établissement d'une échelle de niveaux acoustiques de référence	20
2.2 CHOIX DU POINT DE MESURE	22
3 MESURE DU NIVEAU ACOUSTIQUE	23

3.1	CHOIX DU SONOMÈTRE	23
3.1.1	Types de sonomètres	23
3.1.2	Étalonnage du sonomètre	23
3.1.3	Accessoires requis pour le sonomètre	24
3.2	MÉTHODES DE MESURE	24
3.2.1	Étalonnage	24
3.2.2	Conditions atmosphériques	24
3.2.3	Relevés.....	24
3.3	PERSONNEL DE MESURE	25
4	LIGNES DIRECTRICES POUR LA CONSTRUCTION D'UN CHAMP DE TIR	26
4.1	CONCEPTION DE CHAMPS DE TIR INTÉRIEURS ET EXTÉRIEURS	26
4.1.1	Champs de tir extérieurs	26
4.1.2	Champs de tir intérieurs	28
4.2	PLANIFICATION DES CHAMPS DE TIR	30
4.2.1	Champs de tir extérieurs	30
4.2.2	Champs de tir intérieurs	31
5	TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT	33
5.1	TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT DE CHAMPS DE TIR EXTÉRIEURS.....	33
5.1.1	Colline naturelle.....	33
5.1.2	Écrans latéraux.....	34
5.1.3	Écran derrière le tireur.....	35
5.2	TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT DE CHAMPS DE TIR INTÉRIEURS.....	36
5.2.1	Murs.....	36
5.3	MESURES PRATIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT	36
5.3.1	Champs de tir extérieurs	36
5.3.2	Champs de tir intérieurs	37
6	GLOSSAIRE	38
7	BIBLIOGRAPHIE	41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Niveau de pression acoustique d'une arme de feu, mesuré à 10 mètres dans le sens du tir.....	11
Tableau 2 : Niveaux de pression acoustique des sons de la vie courante	15
Tableau 3 : Niveaux acoustiques (dBAI) à 100 m d'un champ de tir intérieur (la pression acoustique de l'arme de poing mesurée est de 160 dBAI à 600 mm)	36

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Directivité d'une carabine normale à 10 m.....	12
Figure 2 : Directivité d'un fusil de chasse normal à 10 m.....	12
Figure 3 : Caractéristiques de fréquences des pondérations A et C.....	15
Figure 4 : Diminution du bruit avec l'éloignement – sans effet de sol	26
Figure 5 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec effet de sol	27
Figure 6 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans berme	28
Figure 7 : Atténuation du bruit par une cloison	29
Figure 8 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans colline	33
Figure 9 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans écrans latéraux	34
Figure 10 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans écran derrière le tireur	35

À PROPOS

Acoustique des champs de tir a été écrit en mars 1999 par les experts en matière de thèmes suivant :

- John C. Swallow, M.Sc.A., ing.
- John Hemingway, M.Ph., ing.
- Pearlie Yung, M.Sc.

Acoustique des champs de tir a été édité par:

Section du graphisme et de la documentation technique
Sous-direction de la gestion de l'information
Solutions d'entreprise de la GI/TI
Secteur du DPI
Direction générale de la GRC
3000 chemin Merivale M-8 A-3A
Ottawa (Ontario) Canada
K1A 0R2

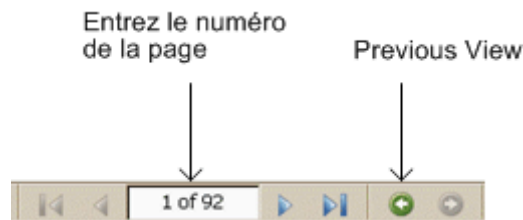
Télécopieur : 613-825-9617

© (2007) SA MAJESTÉ LA REINE DU CHEF DU CANADA
représentée par la Gendarmerie royale du Canada (GRC)

Navigation de la version PDF

Pour visualiser une page particulière, entrez le numéro de la page dans la barre d'outils de **Navigation** situé au bas de la page, et appuyer sur la touche **Enter**.

Les hyperliens s'indiquent par le **texte bleu**; cliquez sur les liens pour visualiser les informations reliées. Pour revenir à la page précédente, cliquez sur le bouton **Retour** (Previous View) sur la barre d'outils de **Navigation**.



RÉSUMÉ

Acoustique des champs de tir s'adresse aux personnes qui, sans jouir d'une formation spécialisée, doivent connaître les principes de base concernant l'acoustique et le bruit des armes à feu ainsi que la propagation et l'atténuation de ceux-ci. On peut penser par exemple aux personnes qui prennent part à la planification, à la construction ou à la réglementation d'un champ de tir nouveau ou en rénovation.

L'introduction présente les notions élémentaires nécessaires à la compréhension des principes de production, de propagation et d'atténuation du bruit des armes à feu. Les premières sections décrivent la dimension physique du son, les mécanismes de production du bruit, les caractéristiques d'une arme à feu, les caractéristiques de la propagation du son et les techniques de mesure.

Les sections qui suivent décrivent les règles, les lignes directrices et les limites exposées dans la loi et la documentation contemporaines à propos des niveaux sonores. Ces limites et ces mesures permettent de faire une évaluation.

Dans les dernières sections, on aborde la construction d'un nouveau champ de tir en énonçant les méthodes et principes de base d'atténuation du bruit. On présente enfin des informations sur l'intensité du bruit des armes à feu typiques, la réduction du bruit avec l'éloignement et l'efficacité des mesures d'insonorisation comme les écrans antibruit, afin de fournir des exemples concrets et de proposer des valeurs réalistes.

1 INTRODUCTION

Le présent document, conçu comme complément d'information aux *Lignes directrices relatives à la conception et à la construction des champs de tir*, a été préparé pour le gouvernement du Canada. Il s'adresse aux profanes qui doivent prendre part, par exemple, à la planification, à la construction ou à la réglementation d'un champ de tir nouveau ou en rénovation.

Tout en rendant compte de diverses lignes directrices, réglementations et limites concernant l'intensité du bruit des armes à feu, le présent document ne propose aucune norme. Par ailleurs, si les exemples fournis présentent des valeurs réalistes des niveaux sonores, il n'y a pas lieu de s'y fier pour la conception d'un champ de tir particulier puisque le niveau de bruit dépend d'un grand nombre de facteurs qui doivent tous être pris en considération dans une situation donnée.

1.1 PHYSIQUE DU SON

On trouvera dans la présente section des notions de base essentielles à la compréhension des phénomènes de production, de propagation et d'atténuation du bruit dans un champ de tir. Le **son** est une onde de pression possédant une certaine **fréquence** (qui en détermine la hauteur) et se déplaçant dans une direction. Ces notions sont expliquées dans les sous-sections 1.1.1 à 1.1.5.

1.1.1 L'onde sonore

Le son est une perturbation qui se propage dans un milieu élastique à la vitesse caractéristique de ce milieu. En général, cette perturbation atteint l'oreille après avoir traversé de l'air.

Pour entrer dans le détail, considérons un corps en vibration dans l'air. En empiétant sur l'espace environnant, il exerce une pression sur la « tranche » d'air qui l'environne. La pression devenant ainsi plus élevée dans cette tranche que dans le milieu ambiant non perturbé, les particules d'air qui s'y trouvent cherchent à fuir vers l'extérieur et transmettent ce mouvement à la tranche suivante, laquelle répercute le même phénomène sur la tranche suivante, et ainsi de suite.

Lorsque le corps en vibration se rétracte, la tranche d'air qui lui est adjacente prend de l'expansion, ce qui abaisse sa pression par rapport au milieu non perturbé. Cette tranche d'air raréfié suit la tranche de compression et se déplace dans la même direction à la même vitesse. La pression de la tranche comprimée est supérieure à celle du milieu ambiant non perturbé. La succession de tranches d'air comprimé et raréfié s'éloignant du corps en vibration constitue ce que l'on appelle une *onde*.

Les particules en vibration qui transmettent l'onde sonore ne changent pas de position moyenne si le milieu de transmission est immobile. Elles vibrent simplement de part et d'autre de leur position d'équilibre.

1.1.2 La fréquence

La hauteur perçue d'un son simple est déterminée par le nombre d'oscillations par seconde de la perturbation de pression sonore. C'est ce que l'on appelle en physique la fréquence. L'unité de mesure de la fréquence est appelée *hertz* (Hz) par convention internationale; le hertz correspond au nombre de cycles par seconde. Un adulte entend normalement des sons variant de 20 à 16 000 Hz. L'acuité auditive est à son maximum autour de 3 000 Hz; autrement dit, c'est à ce niveau que l'on peut entendre le son le plus faible. Pour se situer, précisons que le « do » du milieu du piano vibre à 256 Hz, que la plupart des voyelles de la langue parlée se situent entre 250 et 500 Hz et que les consonnes comme la lettre s oscillent entre 2 000 et 3 000 Hz.

1.1.3 La pression acoustique

Il est possible de mesurer le son physiquement dans le fluide qui est perturbé par rapport à son état d'équilibre. La quantité physique que l'on mesure généralement est la pression acoustique, soit l'infime variation de pression qui se produit de part et d'autre de la pression atmosphérique, laquelle se chiffre normalement à environ 100 000 Pa (1 Pa = 1 Pascal = 1 Newton/mètre² ou N/m²). La pression acoustique est extrêmement faible. Pour une voix qui parle d'un ton normal, elle s'établit à environ 0,1 Pa de part et d'autre de la pression atmosphérique à une distance de 1 mètre.

1.1.4 Les niveaux de pression acoustiques : le décibel

L'oreille humaine, remarquablement sensible, peut percevoir des pressions acoustiques variant de 0,00002 à 60 Pa, ce qui donne un rapport de 1 à 1 000 000. Subjectivement, toutefois, le triplement de la pression acoustique n'est perçu que comme un doublement de l'intensité sonore, de sorte que depuis le seuil d'audibilité jusqu'au seuil de la douleur, l'intensité peut doubler environ douze fois. On en conclut qu'il vaut mieux exprimer l'intensité sonore par une échelle non linéaire.

Si on prend le rapport entre une pression acoustique donnée et le seuil d'audibilité (plus précisément le rapport entre les carrés de ces pressions), puis le logarithme de ce rapport, on obtient une échelle de 0 à 12 représentant la gamme des intensités sonores depuis le seuil d'audibilité jusqu'au seuil de douleur. On a donné à ces valeurs le nom de *bels*, en l'honneur d'Alexander Graham Bell.

En multipliant par dix ces valeurs, on arrive à une gamme qui s'étend de 1 à 120 dB (décibels, soit dixièmes de bel), ce qui fait une échelle beaucoup plus pratique. Ainsi, un saut de 10 dB exprime un doublement de l'impression subjective de l'intensité sonore.

1.1.5 La directivité

La directivité est la mesure de la différence d'intensité sonore selon la direction; elle est généralement exprimée en fonction de la position angulaire par rapport au centre acoustique de la source, ainsi qu'en fonction de la fréquence. Certaines sources émettent un son à peu près uniforme dans toutes les directions. Ce sont des sources dites *non directives*. Généralement, il s'agit de sources de petite taille par rapport à la longueur d'onde du son qu'elles émettent. Dans le champ pratique, la plupart des sources sont plutôt directives; autrement dit, elles sont plus sonores dans une direction que dans une autre. On sait aussi que les sources qui émettent des sons à basse fréquence sont souvent non directives ou presque. En général, plus la fréquence augmente, plus la directivité s'accroît.

1.2 MÉCANISMES DE PRODUCTION DU SON

Cette section parle de deux mécanismes de production de son.

1.2.1 L'onde de choc

Un [son impulsif](#) est un son très bref provoqué par une libération soudaine d'énergie dans l'atmosphère. Ses caractéristiques physiques sont intimement liées à la géométrie et à l'ampleur de la source. Quant à la forme d'onde, elle est aussi fonction du milieu où elle se propage.

Pour entrer dans le détail, disons que les impulsions relèvent en physique des ondes de choc. Étant donné une source sonore et un récepteur, augmentons graduellement le [niveau de la pression acoustique](#) de la source et mesurons le signal transmis au récepteur. Lorsque la pression est faible, on observe une relation linéaire entre la pression à la source et la pression au récepteur. À mesure que la pression acoustique s'accroît, la fonction source-récepteur perd son caractère linéaire et l'onde se déforme. Cette déformation est causée par la variation de la vitesse de l'onde entre les deux points. Ainsi, la courbe sinusoïdale de grande amplitude observée au début se transforme graduellement en onde « en dents de scie », appelée *onde sonore de choc*, ou en une série répétée d'ondes de choc. Les propriétés d'un système présentent une coupure nette de part et d'autre du front d'une onde de choc. De part et d'autre du front de choc, on observe une grande différence de propriété, et la force de viscosité devient grande. L'épaisseur du front de choc est liée au temps de montée du « saut » de pression idéalement mesuré de part et d'autre du choc.

1.2.2 Les surfaces en vibration

Un [son](#) peut aussi être produit par une surface en vibration. L'épaisseur d'air adjacente à la surface entre en mouvement et émet ensuite un son comme on l'a vu au [point 1.1.1](#) ci-dessus. Un haut-parleur monté dans un mur est un bon exemple de ce phénomène. Pour prendre un exemple plus complexe, disons que si l'on frappe à une porte, celle-ci se met à vibrer et à émettre un son vers l'intérieur comme vers l'extérieur. Une grande surface produit plus d'énergie sonore qu'une petite surface; c'est pourquoi, par exemple, les timbales d'un orchestre sont si grandes. De plus, le son peut frapper une surface, la mettre en vibration et être ainsi transmis par elle de l'autre côté. C'est ainsi, par exemple, qu'un bruit traverse une vitre.

1.3 CARACTÉRISTIQUES SONORES D'UNE ARME À FEU

On peut considérer la détonation comme une source sonore directionnelle. L'onde balistique peut être traitée comme une source linéaire cohérente émettant une onde de choc conique. La propagation d'une onde balistique est extrêmement directionnelle et se borne à une zone géométrique bien déterminée dont la limite décrit un angle de 60° par rapport à la trajectoire de la balle. Le bruit d'une arme à feu se concentre généralement dans les hautes [fréquences](#), soit au-dessus de 1 000 Hz.

On trouve au tableau 1 des exemples de **niveau de pression acoustique pondéré A** à 10 mètres dans le sens du tir [8]. On traite plus en détail de ce genre de mesure à la **section 1.6**. On voit que les niveaux de pression acoustiques se situent principalement entre 100 dBA(l) et 130 dBA(l). La mesure se fait en dBA(l) parce que c'est la corrélation entre le **niveau acoustique** maximal et l'impression subjective de l'intensité sonore qui importe. On trouvera à la **figure 1** et à la **figure 2** des illustrations de la directivité normale d'une carabine et d'un fusil de chasse respectivement¹.

Tableau 1 : Niveau de pression acoustique d'une arme de feu, mesuré à 10 mètres dans le sens du tir

Nom de l'arme, calibre et munition	Pression acoustique en dBA(l)
Carabine M/96, 6,5 mm, SK PTR M/94 PRJ M/41	126
Carabine M/96, 6,5 mm, KPTR M/14	120
Fusil de chasse, 7,62 mm, 30-60 Norma Jaktmatch	127
Fusil de chasse II, 5,7 mm, 222 Remington N. Jaktmatch	124
AK 4, 7,62 mm, KPTR 10	120
AK 4, 7,62 mm, SK PTR 10 PRJ	128
AK 5	125
CC 63 Junior, cal. 22, NORMA 22 LR (pistolet)	103
Pistolet m/40, 9 mm, SK PTR M/39 B	126
Fusil de chasse, cal. 12, NIKE Skeet, 70 mm, 32 g, 2 mm	127

¹ Falch, Edvard. « Noise from Shooting Ranges, a Nordic Prediction Method for Noise Emitted by Small-Bore Weapons », Nordic Council of Ministers' Noise Group, NBG, mai 1984.

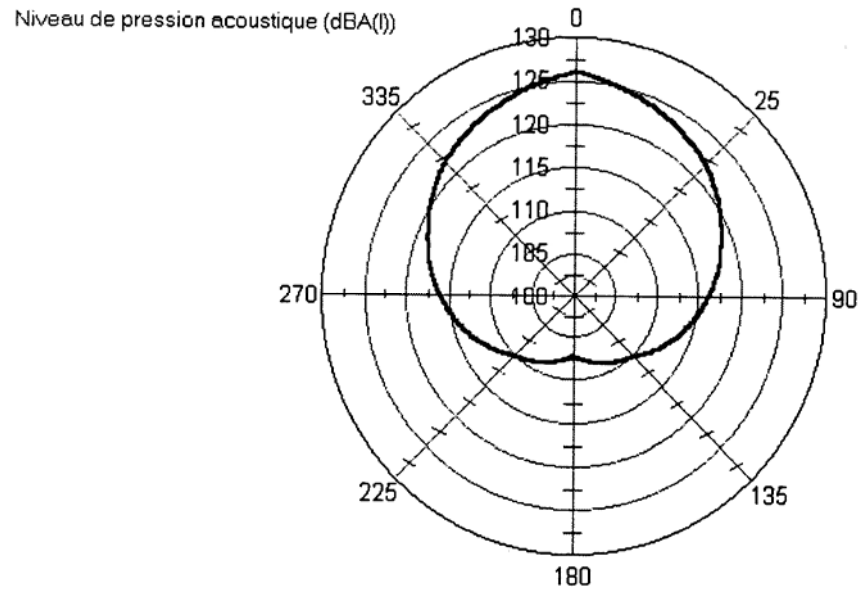


Figure 1 : Directivité d'une carabine normale à 10 m

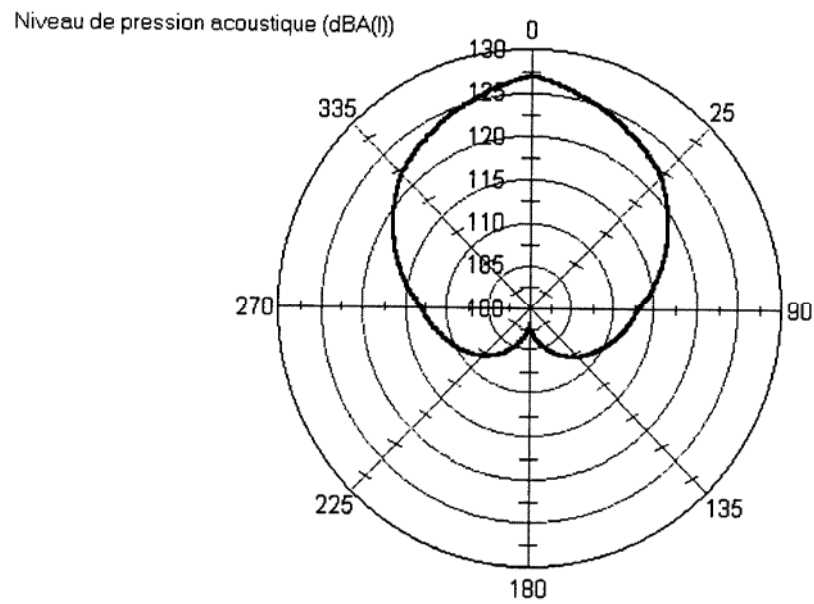


Figure 2 : Directivité d'un fusil de chasse normal à 10 m

1.4 PROPAGATION DU SON

Cette section décrit les éléments de l'environnement qui influencent la propagation du son.

1.4.1 La distance

Le [son](#) se propage selon une progression sphérique sur une grande distance comparativement à la taille de la source (approximation d'une source ponctuelle). Donc, l'intensité sonore diminue de 6 dB chaque fois que l'on double la distance par rapport à la source. Si la source est linéaire, la propagation suit davantage une forme cylindrique, et l'intensité diminue de 3 dB lorsque l'on double la distance. D'autres facteurs peuvent entrer en jeu, mais les mesures concrètes confirment généralement cette réduction caractéristique de 6 dB chaque fois que l'on double la distance.

1.4.2 L'effet de sol

L'« effet de sol » s'observe sur les surfaces tendres, comme un champ labouré ou herbeux. Le son réfléchi par la surface tendre se déphase puis interfère avec le son qui se déplace en ligne droite entre la source et le récepteur. Cette interférence peut assourdir le son qui se dirige en ligne droite et en réduire l'intensité dans une mesure pouvant atteindre 25 dB.

1.4.3 L'absorption dans l'air

Le son peut être absorbé dans l'air à cause de l'amortissement des vibrations par les molécules d'oxygène. Les collisions avec des molécules de vapeur d'eau constituent un élément important du processus de transfert d'énergie; la [fréquence](#) correspondant à l'absorption maximale dépend d'ailleurs fortement de la concentration de la vapeur d'eau. À une température et à un taux d'humidité normaux, l'effet d'amortissement de l'oxygène se traduit par une forte absorption du son aux fréquences supérieures à environ 2 kHz, ce qui est important dans la conception d'un champ de tir.

1.4.4 Les conditions atmosphériques, le vent et les inversions de température

Les conditions atmosphériques jouent un rôle important dans la propagation du son en plein air. Généralement, le vent et la température de l'air varient avec la distance par rapport au sol. Ces variations ont pour effet de modifier la vitesse du son selon les couches d'air successives qu'il traverse, ce qui confère aux ondes une trajectoire courbe. Si le son se déplace dans le sens du vent, en raison de la traînée exercée sur l'air en mouvement au sol, sa vitesse par rapport au sol augmente avec la hauteur et le son suit par conséquent une trajectoire incurvée vers le bas. Inversement, si la propagation remonte le vent, la vitesse de propagation diminue avec l'altitude et on obtient une zone d'ombre près du sol au-delà d'une certaine distance par rapport à la source. Ainsi, l'intensité du son augmente dans le sens du vent et diminue dans le sens contraire.

L'inversion de température s'observe surtout la nuit et au petit matin. Elle est due au refroidissement du sol par rayonnement. La vitesse du son augmente alors avec sa hauteur jusqu'à quelques dizaines ou centaines de mètres et sa trajectoire est incurvée vers le bas. En présence d'un gradient vertical de température, c'est-à-dire lorsque l'air est plus chaud au niveau du sol, ce qui est courant le jour, le trajet de l'onde s'incurve vers le haut, ce qui produit une zone d'ombre par réfraction près du sol au-delà d'une certaine distance, laquelle dépend de la distance au sol de la source. L'intensité sonore augmente pendant une inversion de température et diminue en situation de « gradient vertical » normal.

L'effet de dispersion causée par la turbulence atmosphérique s'accroît avec la distance, augmente environ en proportion de la racine carrée de l'augmentation de la [fréquence](#) du son, et est plus prononcé dans les régions du spectre où l'intensité sonore est déterminée par des mécanismes d'interférence ou de diffraction.

1.5 SENSIBILITÉ DE L'OREILLE HUMAINE

L'acuité de l'ouïe est à son meilleur à une [pression acoustique](#) située entre 40 et 80 dB et dans la plage de fréquences situées entre 300 Hz et 5 kHz. Elle est faible aux extrêmes du spectre des fréquences et de la gamme des [niveaux de pression acoustique](#).

L'oreille a besoin d'un minimum de durée pour percevoir un [son](#). Ainsi, un son de moins de 0,2 seconde environ ne sera pas perçu avec autant d'intensité que le même son qui durerait plus longtemps.

Un son soudain ou inattendu peut causer un réflexe de sursaut par lequel le corps se prépare à affronter ou à fuir un danger éventuel. L'organisme revient normalement à son état antérieur après quelques minutes. On croit que le fait d'être exposé de façon continue ou répétée à un bruit peut causer des lésions irréversibles aux systèmes neurophysiologiques, endocrinaires, sensoriels, digestifs et cardiovasculaires.

1.6 MESURE DU SON

Cette section présente des méthodes pour mesurer le son.

1.6.1 Les sons constants

Comme on l'a vu à la [section 1.1](#), le son est une onde de pression qui se déplace dans l'air. Le son le plus simple à mesurer est le son constant, comme celui d'un transformateur électrique ou d'un moteur de camion au ralenti.

Pondération linéaire et pondération en gammes A et C

L'oreille humaine ne répond pas avec la même acuité à toutes les fréquences. Elle est très insensible aux sons de basse fréquence (disons de 20 à 250 Hz), moyennement sensible aux sons de fréquence moyenne (disons de 500 Hz à 2 kHz) et plutôt insensible aux sons de haute fréquence (disons de 4 à 16 kHz).

Pour tenir compte de cette acuité variable, on « pondère » la mesure du son selon la fréquence. Si l'on rend la mesure d'un son sans pondération, c'est-à-dire selon une échelle « linéaire », c'est qu'on donne la pression acoustique telle quelle. C'est ce qu'on appelle le niveau de pression acoustique, que l'on exprime par dB, dB(Lin) ou dBLin.

La pondération la plus utilisée de nos jours est la **pondération A**, dont les caractéristiques sont illustrées à la figure 3 ci-dessous.

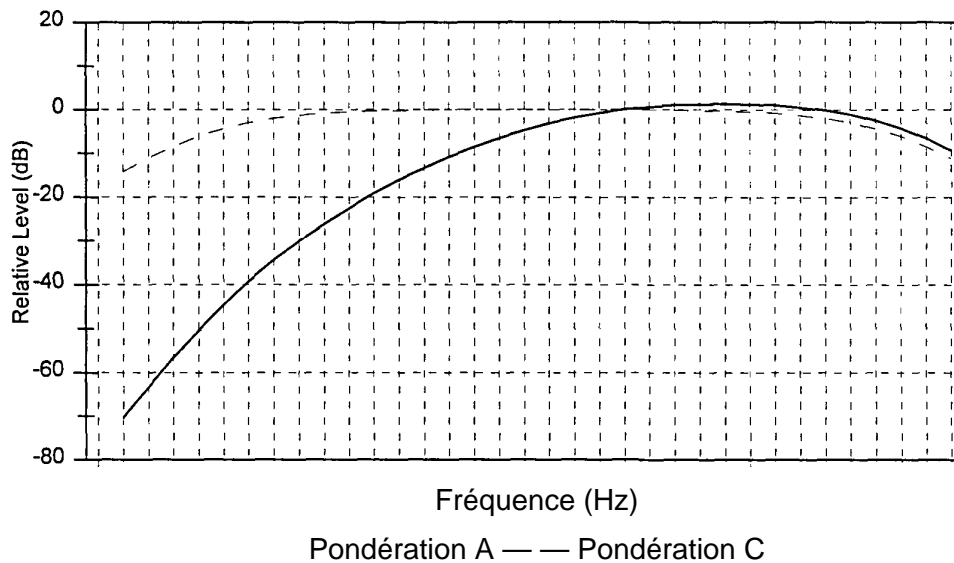


Figure 3 : Caractéristiques de fréquences des pondérations A et C

Si un **son** est mesuré selon la pondération A, on obtient ce que l'on appelle un *niveau acoustique*, exprimé en dBA ou dB(A).

La « pondération C » sert parfois à la mesure des **sons impulsionnels**, mais on l'utilise rarement pour la mesure générale des **niveaux sonores**. La pondération C se rapproche de l'échelle linéaire, seules les hautes et les basses fréquences étant réduites. Elle est aussi illustrée à la figure 3 ci-dessus.

On verra au tableau 2 la valeur en dBA d'une gamme complète de sons de la vie courante. Les valeurs sont données en dBA parce qu'il s'agit de sons relativement constants et que la mesure en dBA correspond à l'impression subjective de l'intensité sonore.

Tableau 2 : Niveaux de pression acoustique des sons de la vie courante

Niveau de pression acoustique dB(A)	Description du son	Évaluation subjective
140	Moteur d'avion à réaction	Assourdissant
130	Avion à réaction au décollage (à 300 m)	Intolérable
120	Groupe « hard rock » (avec amplification électrique)	Seuil de douleur
107	Marteau pneumatique	Surdité temporaire
100	Bruit de la foule dans un stade de football	Très fort

Niveau de pression acoustique dB(A)	Description du son	Évaluation subjective
92	Circulation routière intense	Très fort
80	Réveil-matin (à 0,5 mètre)	Très fort
70	Avion B-757 en vol (dans la cabine)	Fort
65	Cafétéria ou restaurant pleins	Fort
60	Conversation	Moyen
5	Climatiseur de fenêtre	Moyen
34	Chuchotement (à 1,5 mètre)	Faible
20	Bruissement de feuilles	Très faible
10	Respiration humaine	Très faible

Sonomètre en réponse lente

Les **sonomètres** sont à l'origine des appareils analogiques indiquant le **niveau acoustique** au moyen d'une aiguille. La vitesse maximale à laquelle l'aiguille peut se déplacer est fixée par le « temps de réponse ». Si le temps de réponse est long, l'aiguille ne peut bouger que lentement; s'il est court, elle réagit plus vite. Pour mesurer un bruit constant ou presque constant, on a fixé un temps de **réponse « lente »** de 1 seconde.

1.6.2 Les sons variables dans le temps

Si l'on mesure un bruit variable dans le temps, comme le **son** d'un camion qui passe, le niveau acoustique exprimé en dBA augmente puis redescend. Ce phénomène pose un problème plus compliqué que la mesure d'un son constant.

Sonomètre en réponse rapide

Pour mesurer un son variant dans le temps, comme le bruit d'un camion en mouvement, on a défini pour le **sonomètre** un temps de réponse dit « rapide » de 0,125 seconde, qui permet à l'aiguille de l'appareil de se déplacer plus rapidement qu'en mode lent. On peut ainsi voir l'aiguille du sonomètre montrer une valeur croissante à mesure que le camion approche, atteindre un maximum que l'on note, puis redescendre lorsque le camion s'éloigne. La **réponse « rapide »** exprime bien l'impression subjective de l'intensité sonore car le temps de réponse de l'oreille humaine est lui-même près de 0,125 seconde.

Les sonomètres numériques modernes comportent une fonction d'enregistrement automatique du niveau acoustique maximal atteint.

Niveau acoustique continu équivalent (Leq)

Supposons qu'au lieu de mesurer le niveau sonore d'un seul camion en mouvement, on veuille mesurer le bruit de la circulation dans une rue donnée. Il y aurait alors plusieurs passages de véhicules, et à chacun correspondrait un pic particulier. Comment évaluer ce bruit variable dans le temps? Le moyen le plus courant aujourd'hui d'exprimer par une valeur unique l'intensité de bruits variables dans le temps consiste à mesurer ce que l'on appelle le niveau acoustique équivalent, désigné par l'abréviation « Leq ». Le Leq d'un son est le niveau unique qui représente la même énergie que le son ayant varié pendant la période de mesure. Les sonomètres « intégrateurs » mesurent les valeurs Leq directement en totalisant l'énergie des sons enregistrés pendant la durée de la mesure, en établissant une moyenne et en rendant une valeur unique. Les études ont montré une corrélation satisfaisante entre les niveaux sonores Leq en dBA et la réaction générale d'une collectivité au bruit. Le Leq est défini mathématiquement dans la section 6.

La mesure du Leq se faisant sur une certaine période, le choix de cette période est important. On prend généralement les mesures sur des périodes de 1 heure, 24 heures, 16 heures de jour (p. ex. de 7 h à 23 h) ou 8 heures de nuit (23 h à 7 h).

Les résultats de ces mesures seront exprimés en dBA, avec la mention Leq (1 h), Leq (24 h), Leq (jour) ou Leq (nuit).

Niveau de bruit d'événement unique (SEL)

Le niveau de bruit d'événement unique (SEL – Single Event Level) est une variante du Leq dans laquelle le niveau est rapporté à une durée conventionnelle de 1 seconde. On décrit dans la section 6 comment se calcule le SEL à partir du Leq et de la durée de mesure. Le SEL est aussi utilisé pour mesurer les sons impulsionnels émis par les armes à feu. Les niveaux mesurés selon cette méthode avec la pondération A sont notés comme suit : dBA (SEL).

1.6.3 Les sons impulsionnels

On dit du bruit d'une arme à feu qu'il est « impulsionnel », c'est-à-dire très bref, généralement de moins de 1 seconde. Un son impulsionnel est si court que même un sonomètre en réponse rapide ne peut pas vraiment en mesurer le niveau maximal.

On peut parfaitement mesurer l'énergie totale d'une série de sons impulsionnels émis par des armes à feu au moyen du Leq. Cependant, il est peu probable que le Leq donne une idée réaliste de la réaction du milieu humain aux sons impulsionnels en raison de l'effet de sursaut que peuvent causer ces sons. On peut pallier ce problème au moyen d'une constante de correction. Dans une ancienne version (1971) de la norme ISO 1996 [14], on recommande une constante de correction de 5 dB. D'autres ouvrages proposent une constante de 7 dB [25], 10 dB [10] ou 12 dB [29].

Niveau acoustique impulsionnel (dBAI)

Une autre solution au problème de la mesure d'un son impulsionnel consiste à inventer une technique de mesure particulière pour ce type de son. Nous avons déjà vu qu'un son impulsionnel est très bref, de sorte que le temps de réponse rapide de 0,125 seconde du sonomètre n'est pas encore assez vite. Les sonomètres en réponse « impulsion » de 0,035 seconde ont été conçus à l'origine pour mesurer les risques de perte d'acuité auditive dans l'industrie. Ces sonomètres ont un temps de réponse plus rapide que le réglage « rapide ». Afin de faciliter le relevé du niveau maximal, on le règle pour que l'aiguille retombe lentement (en 3 secondes).

Les sonomètres numériques modernes comportent une fonction d'affichage automatique du niveau maximal aux fins du relevé. Les mesures prises en [réponse « impulsion »](#) sont généralement [pondérées A](#) et exprimées par le symbole dBAI ou dBA(I).

Puisque le sonomètre en réponse « impulsion » fait appel à une méthode de mesure différente de celle du [Leq](#), on n'utilise pas ce mode normalement pour faire un relevé Leq. Les mesures Leq sont généralement effectuées en [réponse lente](#) ou rapide.

Niveau de pression sonore de crête

Les [sons impulsionnels](#) causés par des explosifs ou des armes à feu sont mesurés en réponse de « crête ». La réponse de crête est la plus rapide de toutes : le sonomètre numérique enregistre la différence de pression instantanée maximale ([surpression](#)) par rapport à la pression équilibrée de l'air ambiant. La mesure d'un niveau de pression sonore de crête peut être effectuée au moyen d'une pondération linéaire, notée « dB en crête », ou au moyen d'une [pondération A](#), notée « dBA en crête ».

1.6.4 La mesure du bruit émis par une arme à feu

On a vu dans la section précédente qu'il existe deux grandes méthodes de mesure d'un son impulsionnel, donc d'un [son](#) émis par une arme à feu.

La première méthode consiste à mesurer le Leq du bruit d'un champ de tir pendant 1 heure puis à appliquer une constante de correction de 5 [14] à 12 dB [29]. La deuxième consiste à mesurer des coups de feu normaux en mode impulsion ou en crête avec une pondération A pour obtenir un niveau qui s'exprimera en dBAI ou dBA en crête.

Si les [niveaux d'impulsion](#) (ou de crête) varient, on peut en faire la moyenne pour obtenir une valeur unique. Pour ce faire, on peut utiliser une simple moyenne arithmétique, quoique la référence [20] recommande plutôt la [moyenne logarithmique](#), désigné par l'abréviation « LLM », qui pondère les valeurs élevées.

Il n'y a pas de corrélation stricte entre les valeurs dBAI et les valeurs Leq (mesurées en dBA), mais comme on l'a vu dans la [section 1.6.3](#), si l'on ajoute environ 8 au niveau dBAI (5 à 12 selon la référence), le résultat peut être considéré comme équivalent au Leq. Autrement dit, une série d'impulsions de 62 dBAI équivaut grosso modo à 70 dBA Leq pour ce qui est de la réaction du milieu humain.

Nous verrons à la [section 2](#) comment évaluer la nuisance du son des armes à feu grâce à ces techniques.

2 ÉTABLISSEMENT DU NIVEAU ACOUSTIQUE

L'établissement du [niveau acoustique](#) se fait en quatre étapes :

1. choisir une méthode de mesure ou déterminer les paramètres qui décrivent avec justesse la nuisance occasionnée par le bruit;
2. établir un niveau sonore de référence pour le paramètre;
3. choisir un point de réception; et
4. mesurer le son au point de réception en fonction du paramètre.

À la [section 1.6](#), nous avons vu des méthodes de mesure du [son impulsionnel](#) émis par une arme à feu, y compris deux paramètres de mesure. Le premier paramètre réside dans la valeur [Leq](#) sur une période de 1 heure (par exemple), exprimée en dBA, à laquelle on ajoute une constante de correction se chiffrant quelque part entre 5 et 12 dB pour tenir compte de l'effet de sursaut. Le deuxième réside dans la mesure de coups de feu individuels en mode impulsion et selon la [pondération A](#), suivie de l'établissement d'une moyenne convenable des résultats afin d'obtenir un niveau unique exprimé en dBAI.

La présente section traite de l'établissement de niveaux acoustiques de référence (exprimés en dBAI ou en dBA Leq) et du choix des points de mesure. La technique de mesure comme telle est abordée à la [section 3](#).

2.1 PRINCIPES D'ÉTABLISSEMENT DE NIVEAUX ACOUSTIQUES DE RÉFÉRENCE

Il existe deux moyens de fixer un niveau acoustique de référence. Le premier consiste à choisir une valeur arbitraire, et le deuxième à se baser sur le niveau acoustique environnant.

2.1.1 Établissement d'un niveau arbitraire

L'établissement d'un niveau acoustique arbitraire repose sur deux facteurs : 1° le niveau acoustique que l'on considère comme le seuil de nuisance et 2° la possibilité de respecter le niveau établi en pratique.

Il ne s'agit pas nécessairement de fixer comme niveau de référence le niveau auquel un bruit sera perçu. Plusieurs organismes publics acceptent que le niveau acoustique de référence soit fixé à une valeur qui pourrait provoquer une « légère réaction des collectivités » ou des « plaintes sporadiques ».

On trouve un exemple de niveau acoustique arbitraire dans l'arrêté municipal type sur le bruit de l'Ontario (*Ontario Model Municipal By-Law*) :

« Dans le cas d'un son impulsionnel provenant de la décharge d'une arme à feu dans un club de tir homologué, la limite acoustique applicable, si le club était ouvert avant le 1^{er} janvier 1980, est établie à 70 dBAI; sinon, elle est de 50 dBAI. »²

² Ministère de l'Environnement. *Model Municipal Noise Control By-Law: Final Report*, août 1978, section 7.

Dans la *Ministère de l'Environnement. Model Municipal Noise Control By-Law: Final Report*, août 1978, on admet que les clubs de tir existants pourraient avoir du mal à respecter la limite de 50 dBAI. Cependant, la reconnaissance de « droits acquis » permet une tolérance jusqu'à 70 dBAI. La limite de 50 dBAI est aussi celle qui figure dans la *Ministère de l'Environnement et de l'Énergie. Guide to Applying for Approval (Air): Noise and Vibration*, novembre 1995 et dans la *Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail, Santé et Bien-être social Canada. Lignes directrices nationales visant la limitation du bruit extérieur*.

Dans Arntzen, Eystein, Stefan Sorensen et Eva Lindblom. « Annoyance Caused by Noise from Shooting Ranges », *FASE*, 84, pp. 443-448, on apprend que la réaction du milieu à des sons impulsionnels est « très faible » lorsque le niveau est inférieur à 60 dBAI. Dans Smoorenburg, Guido F. « Evaluation of impulse noise, in particular shooting noise, with regard to annoyance ». *Internoise*, 81, pp. 779-782, le « seuil de nuisance » d'un bruit impulsionnel s'établirait autour de 60 à 65 dBA (rapide), ce qui correspond à 65 à 70 dBAI environ.

On peut conclure de ces sources que le seuil à fixer pour limiter la réaction du milieu au son des armes à feu doit se situer entre 50 et 70 dBAI.

Le niveau arbitraire a entre autres pour inconvénient de ne pas tenir compte du niveau acoustique environnant. Or, on peut supposer qu'un champ de tir perturbera davantage le voisinage en milieu rural qu'à côté d'une route passante. La valeur arbitraire ne fait pas de distinction entre ces deux environnements.

2.1.2 Utilisation du niveau acoustique ambiant comme point de référence

Une des méthodes utilisées pour régler le problème de la valeur arbitraire, qui ne fait pas de différence entre un milieu rural paisible et un secteur urbain bruyant, consiste à se servir du niveau acoustique ambiant comme point de référence. On dit alors que le niveau acoustique du milieu ne doit pas être sensiblement accru par la source de bruit.

En zone urbaine, le niveau acoustique ambiant est principalement déterminé par la circulation locale ou distante : les « bruits de la ville ». En milieu rural, il est principalement déterminé par les sons de la nature.

Un des inconvénients de cette méthode réside dans la nécessité de mesurer le niveau de bruit ambiant. Il s'agit là d'une démarche qui complique le processus. Ainsi, la rigidité de la valeur arbitraire fait place à une situation plus compliquée qui consiste à devoir mesurer le niveau acoustique environnant.

Au surplus, dans le cas d'un milieu rural très paisible, il peut s'avérer impossible de ne pas augmenter le niveau acoustique ambiant. Pour surmonter ces difficultés, il faut concevoir une « échelle » de niveaux, ce que nous verrons dans la section 2.1.3.

2.1.3 Établissement d'une échelle de niveaux acoustiques de référence

Il s'agit en fait de constituer une série de niveaux acoustiques de référence correspondant à divers milieux : secteur rural, zone urbaine, centre-ville, etc. Chaque niveau de référence représente le niveau acoustique typique du milieu correspondant. Il n'est donc plus nécessaire de mesurer le niveau acoustique effectif du milieu considéré, mais il faut en revanche décrire l'environnement soigneusement (et parfois en termes juridiques précis) afin de pouvoir choisir le niveau qui correspond réellement au milieu considéré.

En somme, l'utilisation d'un ensemble de niveaux acoustiques de référence arbitraires correspondant à différents milieux règle le problème de la rigidité du critère arbitraire unique, sans pour autant entraîner la nécessité compliquée de mesurer le niveau acoustique ambiant effectif. Le paysage sonore se résume généralement aux bruits de la circulation dans un milieu urbain (bruits de la ville) ou aux sons de la nature (vent, bruissement des feuilles, etc.) dans un milieu rural. Ces **sons** ne sont pas impulsionnels, mais on les mesure généralement en **Leg**. Ainsi, l'utilisation même d'une échelle de niveaux de référence se traduit par l'utilisation du **Leq**, avec l'ajout d'une constante de correction rendant compte de la nature impulsionnelle du bruit d'une arme à feu.

Pour établir une échelle de niveaux de référence, on peut s'inspirer de la recommandation ISO R1996 – 1971³, qui propose comme valeur de base une plage s'étendant de 35 à 45 dBA, dont la moyenne s'établit à 40 dBA. Des corrections à cette valeur de base en fonction de l'heure du jour et du type de secteur sont fournies. En appliquant ces corrections, on obtient l'ensemble suivant de niveaux acoustiques (exprimés, disons, en **Leq** (1 h)) pour le paysage sonore, selon la période de la journée et le genre de secteur.

Période de la journée	Zone rurale	Zone urbaine	Zone urbaine centrale
Jour	40 dBA	50 dBA	55 dBA
Soir	35 dBA	45 dBA	50 dBA
Nuit	30 dBA	40 dBA	45 dBA

La *Ministère de l'Environnement et de l'Énergie. Guide to Applying for Approval (Air): Noise and Vibration*, novembre 1995 propose des seuils qui, s'ils sont respectés, exemptent de toute autre exigence. Les voici à titre de comparaison.

Période de la journée	Zone rurale	Zone urbaine	Zone urbaine centrale
Jour	45 dBA	50 dBA	50 dBA
Soir	40 dBA	47 dBA	45 dBA
Nuit	40 dBA	45 dBA	45 dBA

On voit que les deux séries se ressemblent, quoique les valeurs de l'ISO soient un peu plus sévères que celles de l'Ontario.

³ Recommandation ISO R1996, *Estimation du bruit par rapport aux réactions des collectivités*, mai 1971.

2.2 CHOIX DU POINT DE MESURE

Le choix du point de mesure du bruit d'un champ de tir est une étape importante. La sélection des résidences environnantes s'impose, mais il y a aussi d'autres immeubles à considérer.

Un point de mesure dans un milieu urbain :

« [...] tout point en un endroit où se trouve une personne et où peut être perçu un son ou une vibration en provenance d'un autre lieu. »

« [...] le point de mesure peut être situé par exemple dans les endroits suivants : résidences permanentes ou saisonnières, hôtels, motels, maisons de repos ou de retraite, résidences louées, hôpitaux, terrains de camping ou lieux de tranquillité tels qu'écoles et lieux du culte. »

Un point de mesure dans un milieu rural :

« [...] à moins de 30 m d'une habitation ou d'un terrain de camping. »⁴

Le point de mesure à privilégier sera normalement, parmi ceux qui répondent à ces définitions, celui qui est le plus près de la source de bruit. Il se peut cependant que le bruit en ce point soit atténué par un bâtiment, un écran ou la topographie. Dans ce cas, il peut s'avérer nécessaire de mesurer (ou d'évaluer) le bruit en plusieurs points afin de déterminer l'endroit où il est le plus fort; cet endroit deviendra le point de mesure critique.

On verra à la [section 4](#) comment le bruit d'un champ de tir s'atténue normalement avec l'éloignement.

Cette information nous indique qu'il peut s'avérer nécessaire de tenir compte de points de mesure potentiels dont la distance par rapport au champ de tir peut atteindre au moins 1 kilomètre.

⁴ Ministère de l'Environnement et de l'Énergie. *Guide to Applying for Approval (Air): Noise and Vibration*, novembre 1995, section 7.

3 MESURE DU NIVEAU ACOUSTIQUE

Pour que la mesure des [niveaux acoustiques impulsionnels](#) soit exacte et répétable, il faut fixer les critères applicables au choix du [sonomètre](#), la méthode de mesure et les titres de compétence de la personne qui exécutera la mesure.

3.1 CHOIX DU SONOMÈTRE

Cette section détaille les conditions nécessaires à la bonne utilisation d'un sonomètre.

3.1.1 Types de sonomètres

À la [section 1.6](#), nous avons établi deux moyens valables de mesurer le bruit d'une arme à feu : soit une mesure en [Leq](#) sur une période d'une heure (par exemple), soit un relevé provenant d'un sonomètre pour impulsions. Les sonomètres capables de mesurer une valeur en Leq pendant une certaine durée sont généralement appelés [sonomètres « intégrateurs »](#). Les sonomètres dotés d'un mode de réponse pour impulsions sont généralement appelés [sonomètres « pour impulsions »](#). Un appareil combinant ces deux fonctions est appelé « sonomètre intégrateur pour impulsions ». Il faut utiliser un de ces trois types d'appareil pour mesurer le son d'un champ de tir.

La norme 651 de la Commission électrotechnique internationale (CEI) est un des principaux documents définissant les caractéristiques des sonomètres.

On y établit les quatre degrés de précision suivants :

Type 0	Qualité laboratoire (qualité supérieure)
Type 1	Qualité de précision
Type 2	Qualité de relevé
Type 3	Qualité faible ⁵

La norme CEI 651 définit les tolérances pour les réseaux de pondération linéaire, A et C, ainsi que les temps de [réponse lente](#), [rapide](#) et [impulsionnelle](#). Ces caractéristiques sont décrites à la section 1.6.

On convient généralement que l'évaluation du bruit dans une collectivité doit se faire à l'aide d'un sonomètre qui répond au moins aux caractéristiques du type 2 (qualité de relevé). L'utilisation d'un sonomètre du type 3 n'est pas recommandée.

3.1.2 Étalonnage du sonomètre

Un sonomètre doit être étalonné avant chaque utilisation. Pour ce faire, on utilise souvent un [étalonneur](#) que l'on pose sur le microphone et qui produit un [son](#) dont l'intensité et la [fréquence](#) sont données. Il faut donc disposer d'un étalonneur pour pouvoir mesurer le bruit d'un champ de tir.

⁵ Norme 651 de la Commission électrotechnique internationale, 1979, section 7.

3.1.3 Accessoires requis pour le sonomètre

Les microphones sont sensibles au bruit du vent qui les frôle. Pour réduire ce bruit parasite, on doit utiliser une bonnette ou un écran anti-vent chaque fois que l'on fait une mesure en plein air. On verra à la [section 3.2.2](#) quelles sont les conditions atmosphériques propices à une mesure significative.

Lorsque l'on fait une mesure en [Leq](#) ou d'autres mesures acoustiques pendant une longue période, le [sonomètre](#) doit être fixé sur un trépied.

3.2 MÉTHODES DE MESURE

On peut trouver une marche à suivre détaillée pour la mesure du [niveau acoustique](#) dans l'arrêté municipal type sur le bruit du *Ministère de l'Environnement. Model Municipal Noise Control By-Law: Final Report, août 1978* et dans la *Ministère de l'Environnement et de l'Énergie. Guide to Applying for Approval (Air): Noise and Vibration, novembre 1995*. Il y a lieu de suivre ces documents de référence ou des sources similaires pour obtenir des résultats significatifs. La marche à suivre pour effectuer des mesures comprend ce qui suit.

3.2.1 Étalonnage

Le [sonomètre intégrateur](#) ou [pour impulsions](#) (ou intégrateur pour impulsions) doit être vérifié avec un [étalonneur](#) avant et après la mesure.

3.2.2 Conditions atmosphériques

Le [sonomètre](#) et l'étalonneur ne doivent jamais être utilisés dans des conditions atmosphériques (température, humidité, etc.) contraires aux recommandations du fabricant.

Il importe d'utiliser une bonnette ou un écran anti-vent pour toute mesure en plein air.

On considère généralement une mesure en plein air comme significative si la vitesse des vents est inférieure à 15 à 20 km/h (même avec un écran) et s'il ne pleut pas, en plus des limites de température et d'humidité indiquées par le fabricant.

3.2.3 Relevés

Un relevé en plein air doit comporter les renseignements suivants :

1. nom du mesureur;
2. date;
3. heure;
4. conditions atmosphériques :
 - (a) température;
 - (b) vitesse et direction du vent;
 - (c) humidité relative; et
 - (d) couverture nuageuse;
5. lieu de la mesure (dessin ou carte);
6. principaux bruits captés (armes à feu, circulation, etc.);
7. bruits non captés (trains, avions, jappements, etc.);
8. niveau acoustique caractérisé (dBAI, dBA, Leq (1 h)); et

9. tout autre renseignement ou commentaire pertinent.

3.3 PERSONNEL DE MESURE

Les bruits impulsionnels causés par une arme à feu ne doivent être mesurés que par du personnel formé pour la mesure de niveaux acoustiques en plein air (techniciens ou ingénieurs).

Les ministères provinciaux de l'Environnement tiennent souvent une liste d'experts-conseils reconnus dans le domaine. On peut faire appel à ces cabinets pour mesurer le bruit des armes à feu.

En Ontario, la réglementation du bruit est déléguée aux municipalités, et on offre des cours pour former le personnel municipal, comme les agents d'application des règlements, en mesure du bruit. Les personnes ayant réussi un cours de ce genre peuvent être considérées comme compétentes pour mesurer le bruit causé par des armes à feu.

Les établissements d'enseignement offrant un programme de formation en acoustique et en mesures antibruit sont relativement rares. Les personnes diplômées de ces établissements après avoir suivi ces cours, moyennant la présence d'un superviseur ou au moins un an d'expérience pertinente, peuvent aussi être considérées comme compétentes pour la mesure du niveau acoustique.

Les hygiénistes industriels jouissent souvent d'une formation en mesure des niveaux acoustiques en usine. Moyennant une formation complémentaire en mesure en plein air ou une supervision par des personnes jouissant de la formation nécessaire, ces personnes sont aussi compétentes pour effectuer les mesures.

4 LIGNES DIRECTRICES POUR LA CONSTRUCTION D'UN CHAMP DE TIR

Cette section fournit des lignes directrices relatives à la conception, planification et construction de champs de tir extérieurs et intérieurs.

4.1 CONCEPTION DE CHAMPS DE TIR INTÉRIEURS ET EXTÉRIEURS

Les lignes directrices relatives à la conception de champs de tir extérieurs et intérieurs sont présentées dans les sections 4.1.1 et 4.1.2.

4.1.1 Champs de tir extérieurs

Dans la présente section, nous n'aborderons que les principes les plus généraux de propagation du son dans un milieu. Le niveau de pression acoustique, ou intensité sonore, diminue à mesure que l'on s'éloigne de la source du bruit. Cependant, il est aussi fortement conditionné par les caractéristiques du terrain.

Les exemples qui suivent montrent comment les caractéristiques du terrain influent sur le niveau acoustique par rapport à la distance dans le cas des armes à feu.

On sait que le milieu qui favorise le plus la propagation du son est l'eau, mais c'est aussi le cas d'un sol plat gelé. La figure 4 montre la réduction du niveau acoustique avec l'éloignement jusqu'à une distance de 1 000 m pour une carabine typique. Le niveau acoustique est exprimé en dBAI.

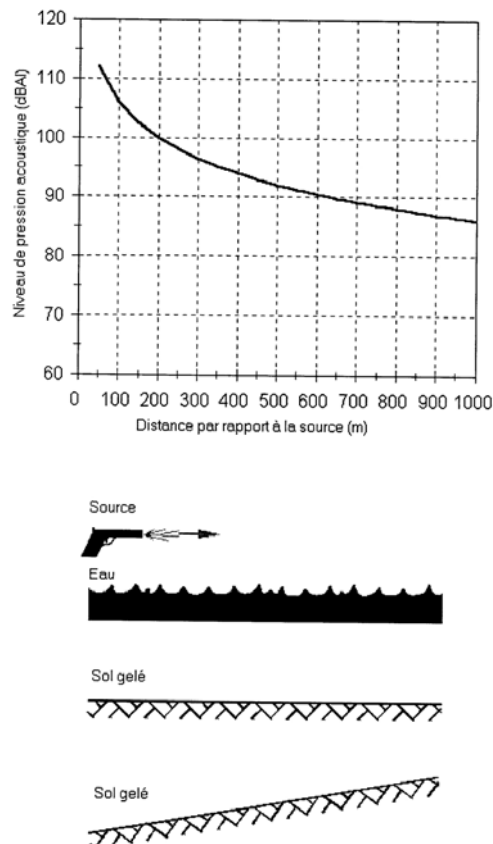


Figure 4 : Diminution du bruit avec l'éloignement – sans effet de sol

La même courbe est valable pour un plan d'eau, un sol gelé ou une surface gelée en pente. La caractéristique essentielle réside dans le fait que la surface est plane.

Le son ne voyage pas aussi bien au-dessus d'un sol plat libre en raison de l'« effet de sol ». La surface doit être essentiellement plane, que ce soit de niveau ou en pente. La figure 5 montre les niveaux acoustiques en fonction de l'éloignement dans ces conditions; on constate qu'ils sont sensiblement moins élevés qu'au-dessus de l'eau.

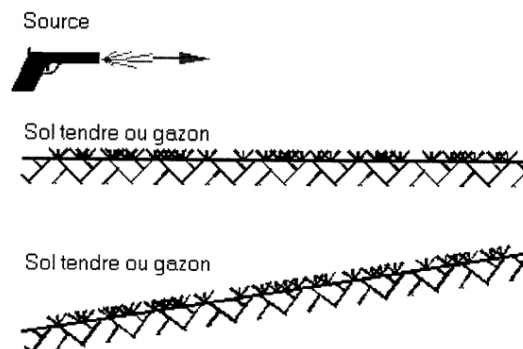
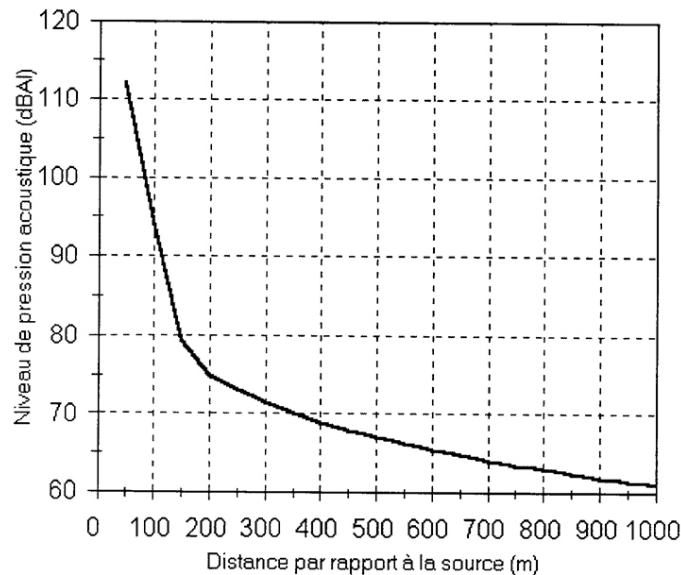


Figure 5 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec effet de sol

On remarque toutefois que même au loin, par exemple à 1 000 m de l'arme à feu, le niveau acoustique reste de l'ordre de 60 à 70 dBA.

On peut réduire davantage le niveau acoustique en interposant une colline, une benne ou un écran entre la source et le récepteur, surtout si l'obstacle coupe la vue entre les deux points. Plus la colline est haute, plus l'atténuation sera importante, quoique le rendement soit décroissant après un certain point. La figure 6 donne l'exemple d'une colline de 10 m située à 100 m d'une source de bruit.

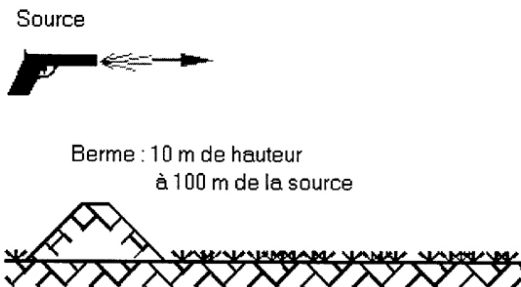
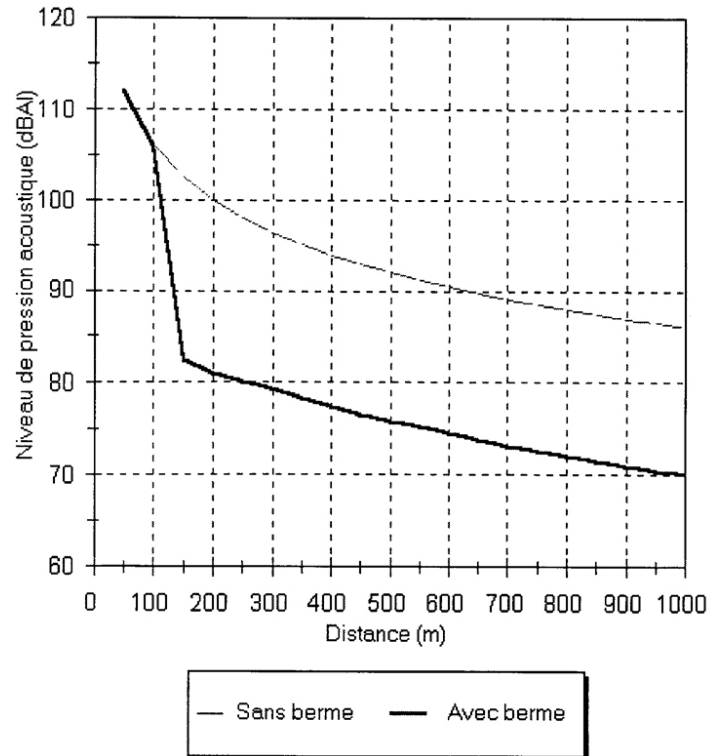


Figure 6 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans berme

Ces données ont été calculées de la même manière que celles des figures précédentes. Il existe donc plusieurs facteurs susceptibles d'atténuer le [son](#) : la distance, le terrain, les obstacles.

4.1.2 Champs de tir intérieurs

Nous traiterons dans la présente section de la propagation du bruit à l'extérieur d'un champ de tir intérieur; il ne s'agit donc pas ici du niveau sonore à l'intérieur du bâtiment.

Dans les paragraphes qui suivent, nous n'aborderons que les principes les plus généraux de propagation du bruit à l'extérieur d'un champ de tir intérieur.

La pression et l'intensité du bruit sont réduites lorsqu'il traverse un mur. C'est ce qu'on appelle en laboratoire l'*affaiblissement acoustique*. La première loi régissant l'affaiblissement acoustique est celle dite de la « masse », selon laquelle plus la masse de la cloison (c.-à-d. son poids par mètre carré) est grande, plus le son est atténué. La figure 7 montre la réduction de bruit, ou affaiblissement acoustique, occasionnée par trois types de murs.

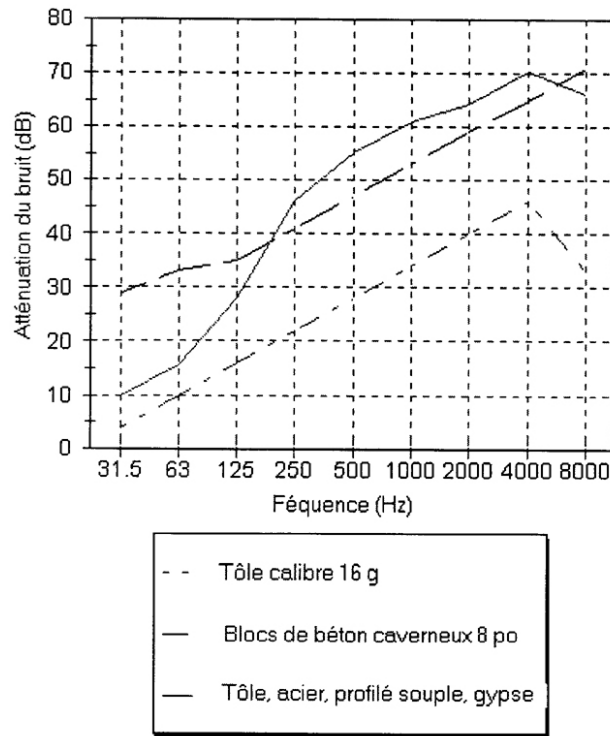


Figure 7 : Atténuation du bruit par une cloison

Si la cloison est faite en tôle de calibre 16 (épaisseur d'un mur de remise extérieure normale), le bruit est réduit d'environ 10 dB à 63 Hz et 30 dB à 500 Hz. Un mur plus lourd, par exemple un bloc de béton caverneux de 8 po, occasionne une réduction d'environ 35 dB à 63 Hz et 50 dB à 500 Hz. C'est la conséquence de la *loi de la masse*.

Cependant, un mur composé de deux cloisons, par exemple une tôle de calibre 16 et un panneau de gypse distants de 150 mm environ et munis d'un matériau résilient comme un profilé souple vendu sur le marché, présente des caractéristiques entièrement différentes. Pour les basses [fréquences](#), cette construction procure à peu près le même affaiblissement acoustique que n'importe quel mur de même densité, mais aux hautes fréquences, il s'avère beaucoup plus efficace qu'une cloison pleine de poids nettement supérieur.

Les matériaux insonorisants disposés à l'intérieur du bâtiment réduisent le bruit à l'intérieur; ceux-ci à l'extérieur du bâtiment aide à réduire le bruit en général, mais n'ont que peu d'efficacité à réduire le bruit des armes à feu que l'on entend à l'extérieur du bâtiment. Les matériaux insonorisants, s'ils sont disposés à l'intérieur d'un bâtiment, atténuent la réverbération à l'intérieur de l'enceinte mais puisqu'ils sont à la surface du bâtiment, ils n'atténuent pas l'impulsion initiale du bruit des armes.

Les orifices muraux sont les ennemis naturels de l'insonorisation. Un mur comme ceux que nous avons décrits plus haut et qui peut réduire le bruit de 60 dB ne laisse passer qu'un millionième de l'énergie sonore. Une simple fenêtre ne représentant que 1 % de la surface totale du mur laissera passer tellement de son que la réduction totale procurée par le mur ne sera plus que de 20 dB environ.

Ainsi, s'il faut mettre une fenêtre, celle-ci devra être fermée et étanche et présenter des caractéristiques d'affaiblissement acoustique à peu près équivalentes à celles du mur qu'elle perce.

Enfin, presque n'importe quelle enceinte fermée a pour effet d'amplifier par réverbération l'intensité du son auquel le tireur est exposé. Dans un espace abondamment pourvu de matériau insonorisant, le niveau acoustique résultant de la réverbération sera environ 5 dB plus élevé que dans une aire ouverte.

4.2 PLANIFICATION DES CHAMPS DE TIR

Dans cette section, nous traiterons de divers facteurs influant sur la propagation du son et devant être pris en considération dans le choix d'un emplacement pour un champ de tir.

4.2.1 Champs de tir extérieurs

Tenir compte du bruit jusqu'à 3 kilomètres de distance

Selon la nature du bruit, sa directivité, la topographie et les conditions atmosphériques, le son peut déranger des personnes, surtout dans les résidences, qui sont situées de 1 à 3 kilomètres du champ de tir, surtout dans le sens du tir.

Obstacles naturels

Idéalement, on cherchera à profiter de la présence d'une colline ou d'un escarpement naturels dans le sens du tir. Il est très coûteux de construire un écran de plus de 5 mètres de haut, alors qu'une colline naturelle est souvent beaucoup plus imposante, donc plus efficace, pour ce qui est d'atténuer le son.

Planification d'un écran ou d'une berme

Il est possible d'aménager un écran ou une berme en cas de besoin pendant les travaux de nivellement et de préparation du terrain. Les matières enlevées peuvent servir à créer la berme. Par ailleurs, en enfonçant le bâtiment dans le sol, on accroît la différence de hauteur entre le tireur et la berme, ce qui rend cette dernière plus efficace.

Écran

Un écran peut être fait de divers types de matériaux : bois, métal, béton, mais il doit présenter une densité de surface d'au moins 20 kg/m² (ex. : bois de 37 mm d'épaisseur). Un écran doit être continu : il ne doit comporter aucune ouverture, et il doit toucher le sol. Il ne doit pas y avoir d'arbres près d'un écran ni au sommet d'une berme.

Conditions climatiques

En certains endroits, il existe des vents dominants; par exemple, le vent peut souffler du nord-ouest 20 % du temps mais du sud-est seulement 10 % du temps. Ces tendances peuvent aussi varier selon l'époque de l'année. Environnement Canada tient des rosés des vents, généralement pour les zones aéroportuaires.

L'intensité sonore augmente à partir d'une certaine distance lorsqu'il y a inversion de température, ce qui se produit généralement les soirs d'été lorsque le vent est faible, comme on l'a vu à la [section 1.4.4](#).

Toutes autres choses étant égales, les conditions climatiques causent de grandes variations du [niveau acoustique](#). Il pourrait être utile d'avertir la collectivité environnante que le bruit des armes à feu pourra être audible au moment des inversions de température ou lorsque le vent souffle dans un sens en particulier, et peut-être pas en d'autres moments.

Enceinte de tir

Certains types de champs de tir se prêtent à l'aménagement d'une enceinte de tir, laquelle peut être simplement constituée par un écran posé derrière le tireur et un plafond au-dessus de lui. Cependant, chaque poste de tir peut être séparé des postes adjacents par une cloison munie d'un orifice ou d'une fenêtre par lequel on tire sur la cible, laquelle est extérieure à l'enceinte. On peut ainsi atténuer le bruit considérablement dans toutes les directions, y compris dans la direction du tir, à condition que la cloison soit lourde et bien isolée et qu'elle soit garnie de matériaux isolants à l'intérieur.

Sources de bruit existantes, en particulier les moyens de transports

On considère généralement que le bruit des moyens de transport fait partie du bruit de fond auquel on peut comparer le bruit des armes. Le niveau acoustique à proximité d'une autoroute se situe souvent autour de 60 à 70 dBA pendant 16 à 24 heures par jour. Dans ce genre de milieu, il se peut que le champ de tir ne fasse aucune différence. Par conséquent, il peut être avantageux de situer un champ de tir près d'une autoroute.

Lieux à éviter

Plusieurs types de topographies doivent être évités, soit parce qu'ils contribuent à la propagation du [son](#), soit parce qu'ils compliquent l'insonorisation. Par exemple, la réduction du bruit est particulièrement difficile lorsqu'il y a entre la source et le récepteur un plan d'eau, de la roche nue ou de grandes surfaces pavées. Comme nous l'avons vu plus haut, le son se propage très bien dans une grande vallée, surtout si la personne tire dans le haut de la vallée.

4.2.2 Champs de tir intérieurs

Dans la présente section, nous verrons plusieurs facteurs influant sur la propagation du son et pouvant avoir une influence sur le choix d'un emplacement pour un champ de tir intérieur et sur la construction du bâtiment.

Tenir compte du bruit jusqu'à 1 kilomètre de distance

Pour un champ de tir intérieur, s'il s'agit d'un bâtiment existant dont les murs et le toit sont relativement légers, selon la topographie et les conditions climatiques, le bruit peut être dérangeant jusqu'à 1 kilomètre.

Construction des murs et du toit

Généralement, les murs et le toit d'un champ de tir intérieur doivent être plus denses que ceux d'un bâtiment ordinaire ou être construits en paroi double afin de procurer un affaiblissement acoustique suffisant.

Matériaux insonorisants

L'emploi de matériaux insonorisants à l'intérieur procure une certaine atténuation à l'extérieur tout en rendant l'ambiance sonore beaucoup moins incommode à l'intérieur. Cependant, l'impulsion initiale d'un [son](#) est généralement peu réduite par les matériaux insonorisants. Il est à conseiller que les tireurs et le personnel portent des serre-tête antibruit.

Ouvertures sur l'extérieur

Toutes les ouvertures sur l'extérieur du bâtiment doivent procurer à peu près le même degré d'affaiblissement acoustique que les murs et le toit. Les fenêtres, les puits de lumière et les portes, et surtout les portes roulantes et les portes de chargement, nécessitent une attention spéciale. Il en va de même des bouches d'aération et des ventilateurs d'évacuation des cuisines et des salles de toilettes.

5 TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT

Cette section présente des techniques pour atténuer le bruit produit par les champs de tir extérieurs et intérieurs.

5.1 TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT DE CHAMPS DE TIR EXTÉRIEURS

Dans la présente section, nous traitons du cas d'un champ de tir en plein air sur un terrain plat (de niveau ou en pente) en étudiant les effets d'une colline naturelle qui serait située directement dans le sens du tir, d'une benne et d'un écran ajoutés sur les côtés et d'un écran placé derrière les tireurs.

5.1.1 Colline naturelle

La figure 8 montre les niveaux acoustiques dans le sens du tir pour une carabine typique sans aucun autre dispositif antibruit.

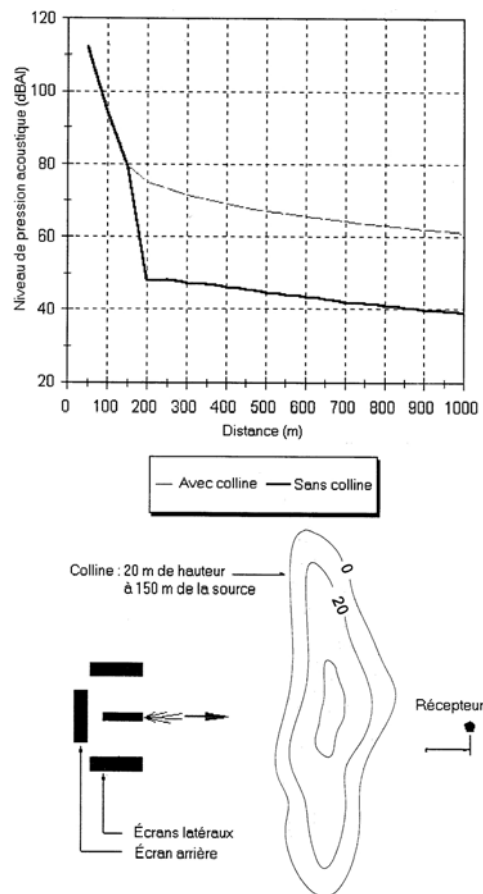


Figure 8 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans colline

On peut voir les niveaux acoustiques correspondant à un sol plat et les comparer aux niveaux acoustiques que l'on mesure avec une colline naturelle de 20 mètres de haut à 150 mètres des tireurs. On constate que la colline procure une réduction de plus de 20 dB, faisant passer le niveau acoustique de 60 à 70 dBAI au départ à 40 à 50 dBAI en définitive.

5.1.2 Écrans latéraux

La figure 9 montre les effets d'un écran de 5 mètres situé à 25 mètres du tireur sur le côté du champ de tir, toujours en supposant que le sol est plat.

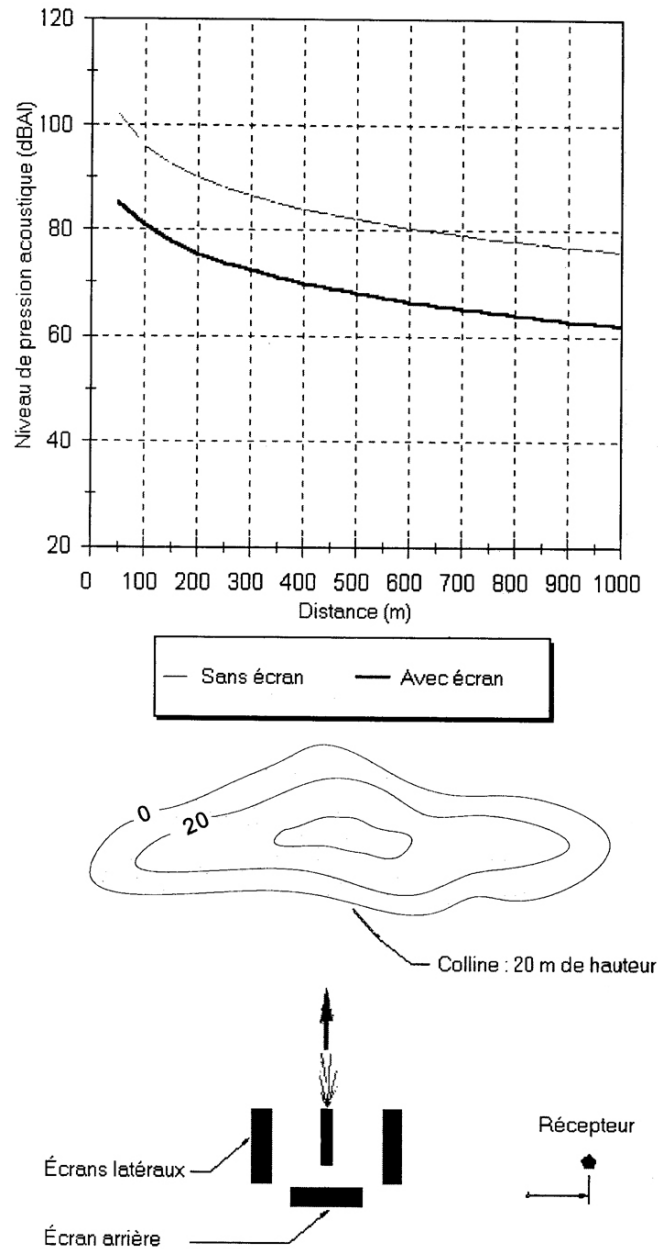


Figure 9 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans écrans latéraux

Encore une fois, l'écran procure une atténuation importante, mais puisqu'il est quatre fois moins haut que la colline et qu'il est situé à la moitié de la distance de cette dernière, la réduction est moins marquée.

5.1.3 Écran derrière le tireur

La figure 10 montre les effets d'un écran derrière le tireur.

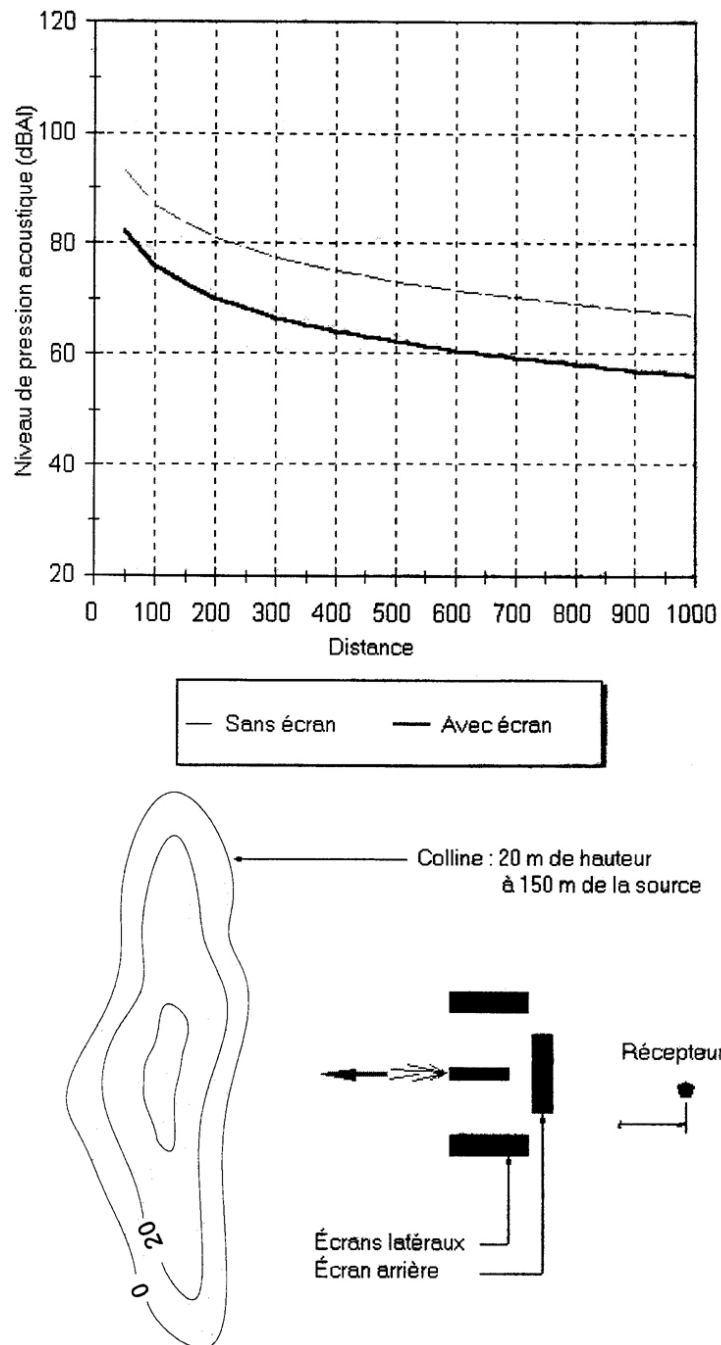


Figure 10 : Diminution du bruit avec l'éloignement – avec et sans écran derrière le tireur

Les mesures étant prises derrière le tireur, les niveaux acoustiques sont déjà plus faibles à cause de la directivité. Un écran de 3 mètres de haut à 10 mètres du tireur procure une réduction d'environ 10 dB.

Si on regarde les valeurs prises devant le tireur, sur les côtés et derrière, on constate qu'il faut probablement un écran plus haut et plus proche sur les côtés pour obtenir les niveaux acoustiques que procurent la colline et l'écran situé à l'arrière.

5.2 TECHNIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT DE CHAMPS DE TIR INTÉRIEURS

Dans cette section, on examine un champ de tir intérieur sans murs et avec divers types de murs.

5.2.1 Murs

Le tableau 3 montre les [niveaux acoustiques](#) d'un champ de tir intérieur sans murs et avec divers types de murs. Il s'agit de l'intensité sonore à 100 mètres du tireur, pour une arme de poing dont le niveau acoustique est de 160 dBA (crête) à 2 mètres et à 90° par rapport à la ligne de feu. On voit que la construction à double paroi et la construction en béton caverneux procurent des niveaux acoustiques de 42 dBAI à 100 mètres dans le sens du tir.

Rappelons que ces chiffres ne sont présentés qu'à des fins d'illustration et que les valeurs réelles varieront selon l'arme utilisée, la construction en cause, la qualité de la construction et le terrain extérieur.

Tableau 3 : Niveaux acoustiques (dBAI) à 100 m d'un champ de tir intérieur (la pression acoustique de l'arme de poing mesurée est de 160 dBAI à 600 mm)

Construction du mur	NPA (dBAI) à 100 m du tireur, dans le sens du tir
Aucun mur	109
Tôle de calibre 16	73
Tôle de calibre 16, charpente d'acier, profilé souple, panneaux de gypse de 16 mm	42
Blocs de béton caverneux de 8 po	42

5.3 MESURES PRATIQUES D'ATTÉNUATION DU BRUIT

Cette section donne un résumé des mesures pratiques à prendre pour l'atténuation du bruit des champs de tir extérieurs et intérieurs.

5.3.1 Champs de tir extérieurs

- Positionner le champ de tir face à une haute colline naturelle.
- Placer des bennes et des écrans qui soient le plus proches et le plus haut possible.
- Couvrir les écrans de matériaux insonorisants et résistant aux intempéries.
- Tenir compte du drainage, des vents et de l'accumulation de la neige dans la conception des bennes et des écrans.
- Orienter le champ de tir de telle sorte que les tireurs soient dos à la zone la plus sensible au bruit.

- Aménager si possible une enceinte de tir dont les surfaces intérieures seront couvertes de matériaux insonorisants.
- Éviter les emplacements situés près d'un lac, d'une rivière ou d'un terrain vague.
- Éviter de mettre des arbres au haut des bennes ou près des écrans.

5.3.2 Champs de tir intérieurs

- Penser à la propagation du bruit par les murs et le toit.
- Construire les murs et le toit en double paroi et (ou) avec des matériaux lourds.
- Poser des matériaux insonorisants à l'intérieur.
- Veiller à ce que les portes et fenêtres présentent les mêmes caractéristiques d'affaiblissement acoustique que les murs et le toit.
- Insonoriser toutes les ouvertures, en particulier les bouches d'air et les orifices d'évacuation; par exemple, situer le matériel de CVC dans le plafond d'une aire de bureau et assurer l'acheminement de l'air par des conduits jusqu'à la zone de tir.

6 GLOSSAIRE

La majorité de ces définitions techniques s'inspirent de la référence *Ministère de l'Environnement. Model Municipal Noise Control By-Law: Final Report, août 1978.*

Décibel

Mesure sans dimension du niveau sonore ou du niveau de pression acoustique. Voir « Niveau dépression acoustique ». (*Decibel*)

Détecteur de pression de crête

Appareil capable de mesurer la pression de crête ou des perturbations de la pression dans l'air et correspondant aux spécifications de la publication NPC-102 (Instrumentation) pour les détecteurs de pression de crête. (*Peak Pressure Level Detector*)

Étalonneur acoustique

Appareil mécanique ou électromécanique servant à étalonner les sonomètres conformément aux spécifications de la publication NPC-102 (Instrumentation) concernant les étalonneurs acoustiques. (*Acoustic Calibrator*)

Fréquence

Nombre de fois qu'une quantité périodique se répète dans un intervalle de temps donné. Se mesure en hertz (Hz), qui exprime le nombre de cycles par seconde. (*Frequency*)

Moyenne logarithmique du niveau acoustique impulsionnel

Pour un ensemble N de sons impulsionnels, produit équivalent à dix fois le logarithme décimal de la moyenne arithmétique de dix à la puissance un dixième du niveau acoustique impulsionnel de chaque son impulsionnel. Parfois notée LLM.

S'exprime par la formule algébrique suivante :

$$LLM = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{N} \left(10^{dBAI_1/10} + 10^{dBAI_2/10} + \dots + 10^{dBAI_N/10} \right) \right]$$

où $dBAI_1, dBAI_2, \dots, dBAI_N$ sont les niveaux acoustiques impulsionnels de N bruits. (*Logarithmic Mean Impulse Sound Level*)

Niveau acoustique

Niveau de pression acoustique pondéré A. (*Sound Level*)

Niveau acoustique équivalent

Valeur (parfois notée Leq) qui exprime le niveau acoustique constant représentant la même énergie totale pondérée A qu'un certain son variant dans le temps pour la même durée. Se mesure en dBA.

La définition mathématique du niveau acoustique équivalent (Leq) correspondant à la durée commençant dans le temps au point t_1 , et se terminant au point t_2 est la suivante :

$$Leq = 10 \log_{10} \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_r^2} dt$$

où $p(t)$ est la pression acoustique pondérée A variant dans le temps et p_r la pression de référence de 20 μPa . (*Equivalent Sound Level*)

Niveau acoustique impulsionnel

Niveau acoustique d'un son impulsionnel mesuré par un sonomètre pour impulsions en réponse « impulsion ». Se mesure en décibels pondérés A, notés dBAI. (*Impulse Sound Level*)

Niveau de pression acoustique

Produit équivalent à vingt fois le logarithme décimal du rapport entre la pression effective (p) d'un son et la pression de référence (p_r) de 20 μPa . Ainsi, le niveau de pression acoustique s'exprime comme suit en dB = $20 \log_{10}(p/p_r)$. (*Sound Pressure Level*)

Niveau de pression acoustique pondérée A

Niveau de pression acoustique modifié selon un filtre de pondération A. S'exprime en décibels pondérés A par le symbole dBA. (*A-Weighted Sound Pressure Level*)

Niveau de surpression

Produit équivalent à vingt fois le logarithme décimal du rapport entre la pression de crête et la pression de référence de 20 μPa . (*Overpressure Level*)

Pondération A

Mode de pondération des fréquences décrit dans les normes 123 ou 179 de la CEI et ayant pour objet d'exprimer autant que possible la sensibilité relative normale de l'oreille humaine à différentes fréquences (hauteurs) de son. (*A-Weighting*)

Pression acoustique

Différence instantanée entre la pression réelle et la pression moyenne ou barométrique en un point donné. Se mesure en micropascals (μPa), unité correspondant à un micronewton par mètre carrée ($\mu\text{N/m}^2$). (*Sound Pressure*)

Pression acoustique efficace

Moyenne quadratique de la pression acoustique instantanée en un point donné, mesurée avec un sonomètre sur un certain intervalle de temps. (*Effective Sound Pressure*)

Réponse « impulsion »

Valeur de réglage des caractéristiques dynamiques d'un sonomètre correspondant aux spécifications de la publication NPC-102 (Instrumentation) pour les sonomètres en réponse « impulsion ». (*Impulse Response*)

Réponse lente

Réglage des caractéristiques dynamiques d'un sonomètre conforme aux spécifications correspondantes de la publication NPC-102 (Instrumentation). (*Slow Response*)

Réponse rapide

Valeur de réglage des caractéristiques dynamiques d'un sonomètre. (*Fast Response*)

Son

Oscillation de pression, de tension, de déplacement de particules ou de vitesse des particules dans un milieu comportant des forces internes (ex. : élasticité, viscosité), ou superposition de ces oscillations en propagation, susceptibles de causer une sensation auditive. (*Sound*)

Son impulsionnel

Impulsion à pression unique ou détonation unique d'impulsions. (*Impulsive Sound*)

Sonomètre

Appareil capable de mesurer le son et étalonné à cette fin. (*Sound Level Meter*)

Sonomètre intégrateur

Sonomètre capable de calculer un niveau acoustique équivalent (Leq). (*Integrating Sound Level Meter*)

Sonomètre pour impulsions

Sonomètre conforme aux spécifications d'une publication quelconque concernant les sonomètres pour impulsions. (*Impulse Sound Level Meter*)

Sonomètre universel

Sonomètre correspondant aux spécifications de la publication NPC-102 (Instrumentation) pour les sonomètres universels. (*General Purpose Sound Level Meter*)

Surpression

Différence instantanée entre la pression de crête et la pression atmosphérique ambiante en un point donné pendant une perturbation. Se mesure en pascals. Un pascal (Pa) équivaut à un newton par mètre carré (N/m^2). (*Overpressure*)

7 BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANSI S12.7-1986, *Methods for Measurement of Impulse Noise*.
- [2] Arntzen, Eystein, Stefan Sorensen et Eva Lindblom. « Annoyance Caused by Noise from Shooting Ranges », *FASE*, 84, pp. 443-448.
- [3] Assmann, Jürgen. « Measurement and Assessment of Noise in the Neighbourhood of Shooting Ranges », *Internoise*, 85, pp. 1283-1286.
- [4] Barman Swallow Associates. « Cold Creek Range Noise Study for Metro Toronto and Region Conservation Authority », octobre 1987.
- [5] Brüel, Per V. « Assessment of Noise from Shooting Ranges for Setting Légal Limits », *FASE*, 84, pp. 455-458.
- [6] Bullen, R. B., et A. J. Hede. « Assessment of Community Noise Exposure from Rifle Shooting », *Journal of Sound and Vibration* (1982), 82(1), pp. 29-37.
- [7] Embleton, T. F. W. « Sound Propagation Outdoors – Improved Prediction Schemes for the 80's », *Noise Control Engineering*, vol. 18, n° 1, janvier-février 1982.
- [8] Falch, Edvard. « Noise from Shooting Ranges, a Nordic Prediction Method for Noise Emitted by Small-Bore Weapons », Nordic Council of Ministers' Noise Group, NBG, mai 1984.
- [9] Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail, Santé et Bien-être social Canada. *Lignes directrices nationales visant la limitation du bruit extérieur*.
- [10] Groeneveld, Ymte, et R. G. de Jong. « CEC Joint Project on Impulse Noise: Overall Results of the Field Survey », *Internoise*, 85, pp. 905-908.
- [11] Hamernik, Roger P., et Keng D. Hsueh. « Impulse noise: Some definitions, physical acoustics and other considerations », *J. Acoust. Soc. Am.*, 90(1), juillet 1991, pp. 189-196.
- [12] Hofmann, Robert F., Allan J. Rosenheck et Guggenbühl. « Prediction and Evaluation of Noise from Rifle Shooting Ranges », *Internoise*, 85, pp. 883-886.
- [13] Norme 651 de la Commission électrotechnique internationale, 1979.
- [14] Recommandation ISO R1996, *Estimation du bruit par rapport aux réactions des collectivités*, mai 1971.
- [15] Norme ISO 1996/2-1987, *Acoustique – Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement – Partie 2: Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols*.
- [16] Kurze, U. J., et L. Schreiber. « Shielding of Shooting Noise by Earth Berms and Walls », *Internoise*, 86, pp. 485-488.
- [17] Lundquist, Björn. « Measurement versus Calculation of the Noise Emission from Weapons », *FASE*, 84, pp. 467-470.
- [18] Lundquist, Björn. « The Reflected Noise behind a Rifle Shooting Range », *FASE*, 84, pp. 471-474.

- [19] Ministère de l'Environnement et de l'Énergie. *Guide to Applying for Approval (Air): Noise and Vibration*, novembre 1995.
- [20] Ministère de l'Environnement. *Model Municipal Noise Control By-Law: Final Report*, août 1978.
- [21] Niedzielski, Rebecca A. *MPCA Impulse Noise Study: Final Report, May 1991*, Minnesota Pollution Control Agency.
- [22] Pääkkönen, R. « Noise Attenuation of Structures against Impulses from Large Calibre Weapons or Explosions », *Applied Acoustics*, 45 (1995), pp. 263-278.
- [23] Pääkkönen, R., H. Anttonen et J. Niskanen. « Noise Control on Military Shooting Ranges for Rifles », *Applied Acoustics*, 32 (1991), pp. 49-60.
- [24] Schomer, Paul D. « A Model to Describe Community Response to Impulse Noise », *Noise Control Engineering*, volume 18, numéro 1, janvier-février 1982, pp. 5-15.
- [25] Schreiber, L. J., et U. J. Kurze. « Sound Propagation from Rifle Shooting Ranges », *Internoise*, 86, pp. 425-430.
- [26] Schuller, Willem M., et Jakob H. de Zeeuw. « Acoustic Effect of Trees on Barriers », *Internoise*, 81, pp. 253-256.
- [27] Seshagiri, B.V. *Measurement of Gun Shot Noise at the Cold Creek Conservation Area*, 1976.
- [28] Seshagiri, B. V. *Measurement of Shotgun Noise at the Cold Creek Conservation Area*, 1977.
- [29] Smoorenburg, Guido F. « Evaluation of impulse noise, in particular shooting noise, with regard to annoyance ». *Internoise*, 81, pp. 779-782.
- [30] Sörensen, S., et J. Magnusson. « Annoyance Caused by Noise from Shooting Ranges », *Journal of Sound and Vibration* (1979), 62(3), pp. 437-442.
- [31] Vos, Joos et Frank W. M. Geurtsen. « Leq as a measure of annoyance caused by gunfire consisting of impulse with various proportions of higher and lower sound levels », *J. Acoust. Soc. Am.*, 82(4), octobre 1987, pp. 1201-1206.
- [32] Vos, Joos. « A Review of Field Studies on Annoyance due to Impulse and Road-Traffic Sounds », *Internoise*, 85, pp. 1029-1032.