

Éléments de Balistique externe

Pour le tir à longue distance aux armes légères longues

Auteur : Fabien FIGUERAS (fabien.figueras@orange.fr)

Date : 19.09.2024

Version : 1.00

Licence du document : CC BY-NC-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Version modifiable : <https://github.com/fabienfigueras/TLD>

AVERTISSEMENTS :

Ce document est fourni sans aucune garantie d'aucunes sortes.

L'application des informations contenues dans ce document sous quelques formes que ce soit n'engage en aucun cas la responsabilité de l'auteur.

Ce document est disponible selon la licence CC BY-NC-SA 4.0. C'est à dire que vous êtes libre de :

- Le partager, de le copier et de le redistribuer dans n'importe quel format (*pdf*, *texte...*) ou par n'importe quel moyen (*Web*, *email*, *DVD*, *USB...*).
- Le modifier

Pour plus de détail voir <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

SOMMAIRE

1	Introduction.....	4
2	Influence sur la trajectoire	4
3	Élévation et Dérive	4
3.1	Élévation (à revoir)	5
3.2	Dérive (à revoir).....	5
3.2.1	Effet du vent	5
4	Comparaison des différentes influences	6
4.1	« Spin Drift » et Coriolis.....	6
4.2	Influence de l'angle de tir vertical.	9
4.2.1	Tir vers le haut.....	9
4.2.2	Tir vers le bas.....	10
4.2.3	Conclusions.	10
4.3	Éléments météorologiques.	10
4.3.1	Influence du vent.....	10
4.3.2	Atmosphère réelle.....	11
4.4	Conclusions	12
5	Définitions	14
5.1	Balistique externe.....	14
5.1.1	Coefficient Balistique.....	14
5.1.2	Stabilité d'une balle.....	14
5.1.3	Saut Aérodynamique (à compléter)	14
5.1.4	Spin Drift.....	14
5.1.5	Le vent	14
5.1.6	Effet Coriolis	15
5.2	Cible.....	15
5.3	Projectile	15
5.4	Système d'arme	15
5.5	Tir	15
5.5.1	Tir à Longue Distance (TLD)	15
5.5.2	Tir à Très Longue Distance.....	16
5.6	Angles.....	16
5.6.1	Milliradian	16
5.6.2	MOA	16
5.7	Atmosphère Normée / Standard Atmosphere	17

5.7.1	ICAO Atmosphere	17
6	Références	18
6.1	Applied Ballistics For Long-Range Shooting.....	18
6.2	Accuracy and Precision For Long Range Shooting	18
6.3	Elements of exterior and Terminal Ballistics	19
6.4	Formule de Didion.....	19

1 Introduction

Ce document a été écrit pour regrouper les éléments permettant au tireur ou à l'observateur (Spotter) de limiter les éléments qui pourraient exercer une influence sur les écarts (horizontaux et verticaux) entre le point visé et le point touché selon les conditions de tir.

Des références sont fournies pour approfondir la compréhension des concepts utilisés.

Les tirs se passent sur terre et sur une cible fixe, on ne considère pas les contre-visées.

2 Influence sur la trajectoire

Si on considère un tir avec une visée sur le point à atteindre, le tireur peut modifier la trajectoire que suivra le projectile en agissant sur la **lunette**. De deux manières, en modifiant l'**élévation** ou en modifiant la **dérive**.

L'action sur la **tourelle d'élévation** (en générale sur le dessus de la lunette) permet d'agir sur la **distance de tir**. Plus l'angle est important, plus la distance sera grande. Elle est principalement utilisée pour compenser l'effet de l'attraction terrestre et des forces de frottements dans l'air.

L'action sur la **tourelle de dérive** (en générale sur la droite de la lunette) permet d'agir sur la **dérive horizontale** du tir, c'est-à-dire le décalage vers la gauche ou vers la droite du point d'impact.

Elle est principalement utilisée pour compenser l'effet du vent.

Pour plus de détail sur les caractéristiques des lunettes consulter les informations des fabricants.

L'action sur la tourelle de Parallaxe (en général située à gauche de la lunette), consiste à régler la netteté selon la distance. Elle n'a en principe pas d'influence sur le tir.

3 Élévation et Dérive

Dès la sortie du canon le projectile est soumis à des forces et pseudo-forces qui vont influencer sa trajectoire et donc le point d'impact.

L'influence de certaines forces et pseudo-forces dépendront de la localisation géographique (attraction terrestre, frottement de l'air, effet Coriolis...) alors que d'autres dépendront des conditions météorologique (vent, humidité...). La direction du tir (angle par rapport au nord et à l'horizontal) a aussi une incidence.

Parmi les forces toujours présentes, certaines exerceront une grande influence (frottements, attraction terrestre...) alors que d'autres exerceront une influence plus modeste (dérive balistique, pseudo force de Coriolis...). On verra dans la suite que leur influence est non négligeable pour du tir à longue ou très longue distance.

3.1 Élévation

Le contrôle de l'élévation permettra de corriger préventivement, principalement l'effet de l'attraction terrestre et des forces de frottements.

Dans une moindre mesure l'effet Coriolis, le saut aérodynamique due au vent latéral, le vent de face ou de dos et l'angle par rapport à l'horizontal.

3.2 Dérive

Le contrôle de l'élévation permettra de corriger préventivement, principalement l'effet du vent perpendiculaire à la trajectoire (effet latéral).

Ainsi que le décalage vers la droite« Spin Drift », pour les canons rayés vers la droite, ou vers la gauche pour ceux rayés vers la gauche.

3.2.1 Effet du vent

Le vent a 3 composantes :

- Une dans l'axe de la trajectoire (notée W_x)
- Deux perpendiculaires à l'axe de la trajectoire
 - Horizontale (notée W_z)
 - Verticale (notée W_v)

L'effet de la résultante des composantes du vent, axiale W_x et Verticale W_v (perpendiculaire à l'axe de la trajectoire et verticale), déplacera l'impact vers le haut ou vers le bas selon le sens de la résultante de ces composantes.

L'effet de la composante latérale du vent, W_z (perpendiculaire à l'axe de la trajectoire et horizontale), déplacera l'impact à gauche si le vent vient de droite et à droite si le vent vient de gauche.

La formule de Didion (voir Référence en annexe 6.4) donne :

$$CI = W_z \cdot (ToF - (OC / V_0))$$

O est le point de sortie de la balle du canon

C est le point visé sur la Cible

I est le point d'impact du au vent

ToF (Time of Flight) est le temps de vol (en seconde) pour que la balle passe de O à I.

OC est la distance (en mètre) entre la sortie du canon et le point visé.

V_0 est la vitesse (m/s) de la balle à la sortie du canon.

Deux exemples pour une distance de tir de 1000m, un vent de 1m/s et un calibre de .308.

Une munition GGG avec une balle Sierra Match King (SMK) de 175gr avec un BC_G7 de 0.243 et une de 190gr avec un BC_G7 de 0.265.

Masse (gr)	ToF (s)	Vo (m/s)	OC/V0 (s)	ToF – (OC/V0)	CI (cm) pour W = 1 m/s
175	1.958	800	1.25	0.708	70.8 arrondis à 71
190	1.93	780	1.28	0.648	64.8 arrondis à 65

Pour des vitesses de vent supérieur à 1m/s il suffit de multiplier directement le résultat obtenu.

Ex : pour 3 m/s de vent moyen et 5m/s maximum en rafales on obtient en arrondissant au cm.

Masse (gr)	CI (cm) pour W = 3 m/s	CI (cm) pour W = 5 m/s
175	71*3 = 213	71*5 = 355
190	65*3 = 195	65*5 = 325

4 Comparaison des différentes influences

Pour comparer le niveau d'influences des différents éléments nous allons utiliser un logiciel balistique.

Une fois les paramètres correspondant aux éléments physiques (fusil, lunette et munition) configurés, nous adapterons les paramètres correspondant aux conditions de tir (voir ci-dessous).

Les éléments comparés seront les valeurs des corrections en élévation et en dérive.

4.1 « Spin Drift » et Coriolis.

Nous travaillerons d'abord en atmosphère normée type ICAO (voir § 5.7.1). Carabine zéroée à 100m.

Sans vent, visée sur une cible à la même hauteur que le canon, distante de 1000m.

Logiciel : Applied Ballistics (AB)
Version : 2.4.24
Bullet Library version : 319600
OS : iOS (iphone) version 17.2.1
Langue : English

Caractéristiques du fusil :

Paramètre AB	Valeur	commentaires
Barrel Twist	1:11 in	Pas de rayure 11 pouces (27.94cm) pour un tour
Twist Direction	Right	Rayure vers la droite
Sight Height	6.5 cm	Distance entre l'axe de la lunette et celui du canon.

Caractéristiques de la lunette :

Paramètre AB	Valeur	commentaires
Reticle	Mildot	Type de réticule graduée en mRAD.
First Focal Plane	Activé	Pas d'influence du grossissement sur la taille des objets.
Elevation Unit	MILS	Unité pour l'élévation en milliradian (mRAD)
Elevation Turret Grad	1/10	Sur la tourelle d'élévation 1 click = 0.1 mRAD soit 1cm à 100m
Windage Unit	MILS	Unité pour la dérive en milliradian (mRAD)
Windage Turret Grad	1/10	Sur la tourelle de dérive 1 click = 0.1 mRAD soit 1cm à 100m

Caractéristiques de la munition :

Marque : Fiocchi

Modèle : Sierra MatchKing

NB : le fabricant de la balle garantie le BC, la fabricant de la munition la vitesse de sortie.

Paramètre AB	Valeur	commentaires
Bullet Diameter	0.782 cm	Calibre : 0.308 pouces, diamètre de la balle 0.782232cm
Bullet Weight	175 gr	Masse de la balle 175 grain = 11.3398 g
Bullet Length	3.15 cm	Longueur de la balle, information fournie par le logiciel.
Muzzle Velocity	764 mps	Vitesse de sortie du canon de la balle mps = m/s
MV Temp Sensitivity	0 mps/°	Variation de la vitesse de sortie en fonction de la température.
Powder Temp	15°C	Température de la poudre
Drag Model	G7	Modèle de balle pour le coefficient balistique
BC	0.243	Coefficient Balistique
Enable Zero Atmosphere	Non	Inutile car on a mis 0 dans MV Temp Sensitivity, sinon on renseigne les valeurs suivantes qui sont les conditions météorologiques dans lesquelles on a réalisé le zéroage.

Conditions du Tir

Paramètre AB	Valeur	commentaires
Distance	1000m	Distance de la cible
Look Angle	0 deg	Angle de tir horizontal : 0°
Move Speed	0 mps	Vitesse de la cible, 0 cible immobile.

Station Pressure	1013 hPa	Pression atmosphérique, ICAO = 1'013.25 hPa
Pressure is Absolute	Activé	Ne dépend pas de l'altitude
Temperature	15°C	Température ICAO=15°C, $273.15+15 = 288.15$ °K
Humidity	0 %	Humidité relative ICAO=0%
Wind Speed	0 mps	0 m/s pas de vent
Wind Angle	3 O'clock	Sans importance si vitesse du vent = 0
Spin Drift	Disable	Si Enable, la variable calculée « Stability Factor » doit être >1.3
Coriolis Effect	Disable	Si Enable, renseigner Latitude (position géographique du tireur) et Azimuth (=angle de tir par rapport au nord)

Sans "Spin Drift" ni Coriolis

Elevation	Windage
U15.4 mils / U154 clicks	L0.0 mils / L0 clicks

Activation « Spin Drift », Coriolis désactivé.

Elevation	Windage
U15.4 mils / U154 clicks	L0.4 mils / L4 clicks

Le canon étant rayé à Droite , la déviation sera vers la droite et la correction toujours vers la gauche (L) et se fait sentir à partir de 350 m (L0,1 mils) puis augmente à 600m (L0.2mils), 850m (L0.3mils) pour atteindre L0.4mils à 1000m soit 40cm.

Désactivation « Spin Drift », Activation Coriolis
Latitude 46

Azimuth (deg)	Elevation	Windage
0 (plein Nord)	U15.4 mils / U154 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
90 (plein Est)	U15.3 mils / U153 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
180 (plein Sud)	U15.4 mils / U154 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
270 (plein Est)	U15.5 mils / U155 clicks	L0.1 mils / L1 clicks

Quelle que soit la direction du tir (Azimuth)
La correction en dérive apparaît à partir de 650m et reste constante L0.1mils soit 10cm à 1000m.

Selon direction du tir.
Plein Nord (0°) :
Pas de correction en Élévation
Plein Est (90°) :

La correction en Élévation apparait à partir de 400m, 0.1mils en moins que sans Coriolis, le tir sera un peu plus haut si on ne corrige pas (0.1mils à 1000m soit 10cm).

Plein Sud (180°) :

Pas de correction en Élévation

Plein Est (90°) :

La correction en Élévation apparait à partir de 400m, 0.1mils en plus que sans Coriolis, le tir sera un peu plus bas si on ne corrige pas (0.1mils à 1000m soit 10cm).

Activation « Spin Drift » et Coriolis

Latitude 46

Azimuth (deg)	Elevation	Windage
0 (plein Nord)	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
90 (plein Est)	U15.3 mils / U153 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
180 (plein Sud)	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
270 (plein Est)	U15.5 mils / U155 clicks	L0.5 mils / L5 clicks

Les corrections s'ajoutent, voir remarques précédentes sur les corrections en Élévation et Dérive.

En conclusion :

Si on ne prend pas en compte les corrections « Spin Drift » ni l'effet Coriolis.

Pas de différence jusqu'à 300m mais à 1000m on raterait le centre de la cible de 50 cm vers la droite et entre 10cm vers le haut ou 10 cm vers le bas selon l'angle de tir.

4.2 Influence de l'angle de tir vertical.

On titre plein nord (0°) et on fait évoluer l'angle de tir vers le haut ou vers le bas puis on compare les corrections.

4.2.1 Tir vers le haut.

On fait évoluer l'angle de tir vers le haut.

Look Angle (deg)	Elevation	Windage
0	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
5	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
10	U15.2 mils / U152 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
20	U14.5 mils / U145 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
30	U13.3 mils / U133 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
40	U11.6 mils / U116 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
45	U10.6 mils / U106 clicks	L0.4 mils / L4 clicks

Élévation :

Plus l'angle augmente (i.e plus on tire vers le haut) plus la correction à appliquer en élévation diminue.

Dérive :

Pour les angles inférieurs à 30 degrés aucune modification, entre 30 et 45, 0.1 mils en moins.

4.2.2 Tir vers le bas.

On fait évoluer l'angle de tir vers le bas.

Look Angle (deg)	Elevation	Windage
0	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
-5	U15.3 mils / U153 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
-10	U15.1 mils / U151 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
-20	U14.3 mils / U143 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
-30	U13.0 mils / U130 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-40	U11.3 mils / U113 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-45	U10.3 mils / U103 clicks	L0.4 mils / L4 clicks

Élévation :

Plus l'angle augmente (i.e plus on tire vers le bas) plus la correction à appliquer en élévation diminue.

Dérive :

Pour les angles supérieurs à -30 degrés aucune modification, entre -30 et -45, 0.1 mils en moins.

4.2.3 Conclusions.

Pour un tir à 1'000m

Entre -4 et +4 pas de modification à apporter aux corrections.

Au-delà il faut absolument prendre en compte les corrections.

Pour un tir à 300m depuis une hauteur de 30m l'angle serait de -5.71° , prenons -6° .

Look Angle (deg)	Elevation	Windage
0	U1.7 mils / U17 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
-6	U1.7 mils / U17 clicks	L0.1 mils / L1 clicks

Pas de corrections à apporter ☺

4.3 Éléments météorologiques.

4.3.1 Influence du vent

La vitesse et l'angle du vent sont pris en compte.

Pour mémoire

1 m/s = 3.6 km/h

5 m/s = 18 km/h

10 m/s = 36 km/h

15 m/s = 54 km/h
20 m/s = 72 km/h

Wind Speed/Angle m/s / clock	Elevation	Windage
0 / NA	U15.4 mils / U154 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
5 / 12 (de face)	U15.6 mils / U156 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
10 / 12 (de face)	U15.8 mils / U158 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
15 / 12 (de face)	U16.0 mils / U160 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
20 / 12 (de face)	U16.2 mils / U162 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
5 / 6 (de dos)	U15.2 mils / U152 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
10 / 6 (de dos)	U15.1 mils / U151 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
15 / 6 (de dos)	U14.9 mils / U149 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
20 / 6 (de dos)	U14.7 mils / U147 clicks	L0.5 mils / L5 clicks
5 / 3 (de gauche)	U15.6 mils / U156 clicks	L4.7 mils / L47 clicks
10 / 3 (de gauche)	U15.7 mils / U157 clicks	L8.9 mils / L89 clicks
15 / 3 (de gauche)	U15.8 mils / U158 clicks	L13.1 mils / L131 clicks
20 / 3 (de gauche)	U16.0 mils / U160 clicks	L17.2 mils / L172 clicks
5 / 9 (de droite)	U15.3 mils / U153 clicks	R3.7 mils / R37 clicks
10 / 9 (de droite)	U15.1 mils / U151 clicks	R7.9 mils / R79 clicks
15 / 9 (de droite)	U15.0 mils / U150 clicks	R12.1 mils / R121 clicks
20 / 9 (de droite)	U14.9 mils / U149 clicks	R16.3 mils / R163 clicks

Élévation :

Pour les vents de face ou de dos les corrections restent modestes.

- Vent de face la correction augmente de 0.1 à 0.8 mils.
- Vent de dos la correction diminue de 0.2 à 0.7 mils.

Pour les vents de côté (gauche ou droite) les corrections restent modestes.

- Vent de gauche la correction diminue de 0.1 à 0.5 mils.
- Vent de droite la correction augmente de 0.2 à 0.6 mils.

Dérive :

Pour les vents de face ou de dos aucune correction.

Pour les vents de côté (gauche ou droite) les corrections sont importantes.

- Vent de gauche la correction à apporter est vers la gauche et va de 4.7 à 17.2 mils.
- Vent de droite la correction à apporter est vers la droite et va de 3.7 à 16.3 mils.

4.3.2 Atmosphère réelle

On ne travaille plus en atmosphère normée type ICAO.

Les paramètres à prendre en compte sont :

- Température

- Pression atmosphérique
- Humidité relative

La mesure de ces paramètres peut se faire avec un Kestrel.

La localisation géographique (Longitude, Latitude et Altitude).

La mesure de ces paramètres peut se faire avec un GPS de smartphone.

4.3.2.1 Influence de la température

La température, en plus de son influence sur les paramètres de vol, va aussi influencer la vitesse de sortie du projectile :

La température a une influence indirecte sur la vitesse de sortie du projectile, en chauffant (ou refroidissant) la cartouche et donc la poudre contenue à l'intérieur.

Plus la poudre chauffe plus la vitesse augmente.

Quelques prises de vitesses à différentes températures doivent permettre de déterminer le coefficient de changement de vitesse selon la température et l'introduire dans le calculateur.

La vitesse de sortie est aussi influencée par la longueur du canon, la vitesse augmente avec la longueur, et la longueur augmente, très faiblement avec la température (phénomène de dilatation des métaux).

Les paramètres du calculateur changent aussi avec la température.

La force de l'attraction terrestre (g)

Passer de 0m en ICAO :

- à 1'000m, g change de 0.03 %
- à 10'000m, g change de 0.31 %

La vitesse du son change avec la température.

4.3.2.2 Influence de la pression atmosphérique

La pression atmosphérique, qui représente la force exercée par la hauteur de la colonne d'air fluctue avec l'altitude (moins d'air = moins de pression).

L'influence directe est faible à très faible par rapport aux autres paramètres.

4.3.2.3 Influence de l'humidité relative

L'humidité relative mesure la quantité d'eau dans l'air.

Sa valeur influence la densité de l'air et donc l'effet des forces de frottements qui vont ralentir le projectile.

4.4 Conclusions

Le calculateur, si on lui donne les bonnes informations fera les changements sur les paramètres de vols en s'appuyant sur le calcul du coefficient J [Référence 6.3 §4.1 Newton-Snell's Law in Exterior Ballistics, p147].

Les mesures des paramètres atmosphériques, géographiques et sans oublier la température des munitions et leur introduction dans le logiciel balistique sont importantes pour obtenir une solution de tir la plus fiable possible.

5 Définitions

5.1 Balistique externe

Étude de la trajectoire d'un projectile entre la sortie du système d'arme et la cible.

5.1.1 Coefficient Balistique

Ce coefficient permet de décrire assez simplement mais donc avec des erreurs variables la fluctuation de la force de frottement.

Article détaillé en Français.

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2019/09/le-coefficient-balistique.html>

5.1.2 Stabilité d'une balle

Ces notions concernent la stabilité dès la sortie du canon et tiennent compte du calibre, de la masse et de la longueur de la balle et aussi du pas de rayure du canon.

Le calibre étant connu, le pas de rayure du canon aussi, on pourra en déduire la masse maximale utilisable pour avoir une balle stabilisée !

Articles détaillés en Français.

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2019/10/la-stabilite-d-une-balle.html>

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2019/10/la-stabilite-d-une-balle-2eme-partie-en-cours.html>

5.1.3 Saut Aérodynamique

C'est un décalage vers le haut ou le bas qui est influencé par la composant horizontale du vent (W_z).

Il est vers le haut si le vent viens de droite (III heure) ou vers le bas si le vent viens de gauche (IX heure).

Article détaillé en Français.

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/02/le-saut-aerodynamique-8.html>

5.1.4 Spin Drift

C'est un décalage qui est une conséquence de la rayure du canon, vers la droite pour les pas à droite respectivement vers la gauche pour les pas à gauche.

<https://www.gunwerks.com/blog/lrp-blog-2/Wzat-is-spin-drift-259>

5.1.5 Le vent

Les conséquences de l'effet du vent dépendent de l'intensité du vent et de l'angle par rapport à la direction du tir.

Articles détaillés en Français.

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/01/le-vent-1ere-partie.html>

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/01/le-vent-2eme-partie.html>

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/01/le-vent-3eme-partie.html>

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/02/le-vent-4eme-partie.html>

5.1.6 Effet Coriolis

Les conséquences de l'effet Coriolis dépendent de la position au moment du Tir, hémisphère (Nord ou Sud), de la latitude et de l'angle de tir par rapport au Nord.

Article détaillé en Français.

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2020/01/l-effet-de-coriolis.html>

5.2 Cible

Élément matériel devant être le point terminal de la trajectoire du projectile.

5.3 Projectile

Élément matériel propulsé du système d'arme vers la cible, dans le cadre de ce document il s'agit d'une balle.

5.4 Système d'arme

Ensemble des éléments nécessaires au Tir.

- Fusil (en particulier le canon).
- Cartouche (balle, étuis, poudre...)
- Lunette
- Montage lunette
- Support entre le canon et le montage lunette (avec inclinaison)

5.5 Tir

Éjection d'un projectile d'un canon dans l'air.

Article en Français sur la zone Transsonique.

Vitesse de la balle entre 1.2 et 0.8 fois la vitesse du son

<http://ballisticshooters.over-blog.com/2019/11/la-zone-transsonique-arelire.html>

5.5.1 Tir à Longue Distance (TLD)

Il s'agit d'un tir où le projectile ne dépasse pas la distance à partir de laquelle le nombre de Mach est inférieur à 1.2.

Cette distance dépend du projectile (forme, calibre, masse), du type de canon (nombre et pas des rayures, longueur), des conditions initiales (vitesse initiale, pression, température, hygrométrie...).

Ex : pour une balle de type Sierra Match King (HPBT) de calibre 0.308 tirée, horizontalement, face au nord et sans vent, dans une carabine avec un canon rayé au pas de 1:11 à droite de longueur 61cm et avec une vitesse initiale d'environ 764 m/s la distance limite sera d'environ de 700m.

5.5.2 Tir à Très Longue Distance

Il s'agit d'un tir où le projectile dépassera la distance à partir de laquelle le nombre de Mach est inférieur à 1.2.

Cette distance dépend du projectile (forme, calibre, masse), du type de canon (nombre et pas des rayures, longueur), des conditions initiales (vitesse initiale, pression, température, hygrométrie...).

Ex : pour une balle de type Sierra Match King (HPBT) de calibre 0.308 tirée, horizontalement, face au nord et sans vent, dans une carabine avec un canon rayé au pas de 1:11 à droite de longueur 61cm et avec une vitesse initiale d'environ 764 m/s la distance limite sera au-delà de 700m.

5.6 Angles

5.6.1 Milliradian

Le milliradian est plutôt utilisé avec le système métrique (m).

<https://en.wikipedia.org/wiki/Milliradian>

Définition : c'est l'angle (α) sous lequel on voit 1m à 1000m

$\tan(\alpha) = 1/1000$

$\alpha = \arctan(1/1000)$

$\alpha = 0.0009999996667$

$\alpha \times 1000 = 0.9999996667$

Ce qui est très très peu différent de 1mRAD

5.6.2 MOA

Le milliradian est plutôt utilisé avec le système Impérial (inches, yards...).

MOA=Minute of Angle

<https://www.nssf.org/shooting/minute-angle-moa/>

un angle peut être mesuré en degrés, minutes, secondes

1 minute = 60 secondes

1 degré = 60 minutes

Donc 1 minute d'angle = 1/60 degré

180 degrés = Pi radian

1 inch = 2,54 cm = 0.0254 m

100 yards = 91.44 m

Quel est l'angle (alpha) correspondant à 1 inch à 100 yards ?

$\tan(\text{Alpha}) = 0.0254/91.44$

$\text{Alpha} = \text{Arctan} (0.0254/91.44)$

$\text{Alpha} = 2.77777777 \times 10^{-4} \text{ rad}$

$1 \text{ rad} = 180/\pi \text{ degré} = 180 \times 60/\pi \text{ MOA}$

$\text{Alpha} = 0.954929634 \text{ MOA}$

Ce qui est assez proche de 1 MOA

So 1MOA is approximately 1 inch at 100 yards.

Ce qui est plus simple pour les utilisateurs du système Impérial.

5.7 Atmosphère Normée / Standard Atmosphere

Dans une atmosphère Normée certains éléments physiques sont définis, en unité du système international on pourrait avoir :

Altitude : m

Température : °K

Pression : Pa

Hygrométrie relative de l'air : %

Densité de l'air : kg/m³

https://en.wikipedia.org/wiki/International_Standard_Atmosphere

Les données transmises par un fabricant de munition devraient mentionner les conditions des tests.

5.7.1 ICAO Atmosphere

International Civil Aviation Organization (ICAO) :

[http://www.aviationchief.com/uploads/9/2/0/9/92098238/icao_doc_7488 -
_manual_of_icao_standard_atmosphere - 3rd edition - 1994.pdf](http://www.aviationchief.com/uploads/9/2/0/9/92098238/icao_doc_7488_-_manual_of_icao_standard_atmosphere_-_3rd_edition_-_1994.pdf)

Quelques constantes

Altitude: 0m

Atmospheric pressure: 101325 Pa = 1'013.25 hPa

Temperature: 15°C , 273.15+15 = 288.15 °K

Density: 1.225 kg/m³
g(0) = 9.80665 m/s²
Humidité Relative : 0%

Les lois d'évolution

Accélération de la pesanteur (g en m/s²)
g(0) selon la latitude (Phi=45°32'33")

$$g(0, \text{Phi}) = 9.80616 * (1 - 0.0026373 * \cos(2 * \text{Phi}) + 0.0000059 * \cos(2 * \text{Phi}) * \cos(2 * \text{Phi}))$$

si h est l'altitude en m
r = 6'356'766 m le rayon de la sphère terrestre

$$g(h) = g(0, \text{Phi}) * (r / (r + h))^2$$

Vitesse du son (noté « a », en m/s)

T température en °K
^0.5 = racine carré

$$a = 20.046796 * (T)^{0.5}$$

On trouve aussi les relations pour les viscosités dynamique et cinématique et la conductivité thermique.

6 Références

Peu de livres en Français, dommage.

6.1 Applied Ballistics For Long-Range Shooting

Auteur : Bryan Litz
Année : 2015 3^{ème} édition
Éditeur : Applied Ballistics
ISBN : 978-0-9909206-1-8
Langue : Anglais
Niveau : tous
Utilisation : Pratique

6.2 Accuracy and Precision For Long Range Shooting

Auteur : Bryan Litz
Année : 2012
Éditeur : Applied Ballistics
ISBN : 978-0-615-67255-7
Langue : Anglais
Niveau : tous
Utilisation : Pratique

6.3 Elements of exterior and Terminal Ballistics

Auteur : George Klimi
Année : 2021
Éditeur : Xlibris
ISBN : 978-1-6641-5656-2
Langue : Anglais
Niveau : Académique
Utilisation : Théorique

6.4 Formule de Didion

<http://lutzmoeller.net/Ballistik/Didion/Didion.php>