

Niveaux d'influence des paramètres sur la Balistique externe

Pour le tir à longue distance aux armes légères longues

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

Date : 5.02.2025

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.....	5
3.2	Dérive	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.	10
4.2.1	Tir vers le haut.....	10
4.2.2	Tir vers le bas.....	11
4.2.3	Conclusions.	11
4.3	Éléments météorologiques.	11
4.3.1	Influence du vent.....	11
4.3.2	Atmosphère réelle.....	12
4.4	Conclusions	13
5	Définitions	15
5.1	Balistique externe.....	15
5.1.1	Coefficient Balistique.....	15
5.1.2	Stabilité d'une balle.....	15
5.1.3	Saut Aérodynamique.....	15
5.1.4	Spin Drift.....	15
5.1.5	Le vent	15
5.1.6	Effet Coriolis	16
5.2	Cible.....	16
5.3	Projectile	16
5.4	Système d'arme	16
5.5	Tir	16
5.5.1	Tir à Longue Distance (TLD).....	16
5.5.2	Tir à Très Longue Distance.....	17
5.6	Angles.....	17
5.6.1	Milliradian	17
5.6.2	MOA	17
5.7	Atmosphère Normée / Standard Atmosphere	18

5.7.1	ICAO Atmosphere	18
6	Références	19
6.1	Applied Ballistics For Long-Range Shooting.....	19
6.2	Accuracy and Precision For Long Range Shooting	19
6.3	Elements of exterior and Terminal Ballistics	20
6.4	Formule de Didion.....	20

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 $OC=1000m$, un vent $W_z=1m/s$ et un calibre de 0.308 pouces.

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) (s)	CI (cm) pour Wz = 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

La correction à appliquer sera (1 click = 0.1MRAD)

Masse (gr)	CI (m)	Angle (mRAD)	Correction (clicks)
175	0.708	0.708	7
190	0.648	0.648	6 ou 7

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

Et les corrections seront

Masse (gr)	clicks pour W = 3 m/s	clicks pour W = 5 m/s
175	21	35 ou 36
190	19 ou 20	32 ou 33

Si le vent vient de la droite vers la gauche (respectivement de la gauche vers la droite) sans correction l'impact sera plus à gauche (respectivement plus à droite), on devra appliquer une correction vers la droite (respectivement vers la gauche).

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 : AB Quantum (*anciennement Applied Ballistics*)

Suscription Level : Elite

Version : 3.2.3

Build : 117

Bullet Library version : 319800

OS : iOS (iphone 16 Pro) version 18.2.1

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	6.70 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, Norma

Modèle d'ogive : 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.

Powder Temp	T 15°C	Température de la poudre, si on laisse les cartouches à l'air libre deviendra égale à celle de l'air ambiant.
Muzzle Velocity	V0 (T) mps/°	Vitesse de sortie du canon de la balle mps = m/s fluctue selon la température de la munition (conditions ICAO Alt=0m, T=15°C, P = 1013hPa, HR = 0%). Si MV-Temp est activé il faut au moins deux couples (5°C 774.5 m/s). Variation de la vitesse de sortie est fonction de la température entrée (778.9 pour 8°C). Le calcul est fait avec les couples ayant la plus petite (Tmin, V(Tmin)) et la plus grande température (Tmax, V(Tmax)). $V0 = ((V(Tmax) - V(Tmin)) / (Tmax - Tmin)) * T + V(Tmax) - Tmax * ((V(Tmax) - V(Tmin)) / (Tmax - Tmin))$
Drag Model	G7	Modèle de balle pour le coefficient balistique G1 ou G7
BC_G7	0.275	Coefficient Balistique selon le modèle G1 ou G7
Enable Zero Atmosphere	NA	CE paramètre a disparu avec le passage AB à AB Quantum.

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	NA	A disparu
Temperature	15°C	Température ICAO=15°C, 273.15+15 = 288.15 °K
Humidity	0 %	Humidité relative ICAO=0%
Wind Speed 1	0 mps	0 m/s pas de vent, valeur moyenne mini
Wind Speed 2	0 mps	0 m/s pas de vent, valeur moyenne maxi
Wind Angle	3 O'clock	Sans importance si vitesse du vent = 0, granulosité par demi-heure. (0h30, 2h, 2h30...)
Aerodynamic Jump	NO	Dans le menu Settings->General Settings, si YES n'agit que s'il y a du vent latéral.

Spin Drift	NO	Dans le menu Settings->General Settings, si YES, la variable calculée « Stability Factor » doit être >1.3
Coriolis	NO	Dans le menu Settings->General Settings, si YES renseigner Latitude (position géographique du tireur) et Azimuth (=angle de tir par rapport au nord)

Sans "Spin Drift" ni Coriolis

Balle Sierra Match King 175 gr

Elevation	Windage
U12.7 mils / U127 clicks	L0.0 mils / L0 clicks

Activation « Spin Drift », Coriolis désactivé.

Elevation	Windage
U12.7 mils / U127 clicks	L30 mils / L3 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 325 m (L0,1 mils) puis augmente à 675m (L0.2mils), 900m (L0.3mils) pour atteindre L0.3mils à 1000m soit environ 30cm.

Désactivation « Spin Drift », Activation Coriolis
Latitude 46

Azimuth (deg)	Elevation	Windage
0 (plein Nord)	U12.7 mils / U127 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
90 (plein Est)	U12.5 mils / U125 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
180 (plein Sud)	U12.7 mils / U127 clicks	L0.1 mils / L1 clicks
270 (plein Est)	U12.8 mils / U128 clicks	L0.1 mils / L1 clicks

Quelle que soit la direction du tir (Azimuth)

La correction en dérive apparaît à partir de 675m 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 apparaît à partir de 600m, 0.1mils en moins que sans Coriolis, le tir sera un peu plus haut si on ne corrige pas (0.2mils à 1000m soit 20cm).

Plein Sud (180°) :

Pas de correction en Élévation

Plein Est (270°) :

La correction en Élévation apparait à partir de 500m, 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)	U12.7 mils / U127 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
90 (plein Est)	U12.5 mils / U125 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
180 (plein Sud)	U12.7 mils / U127 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
270 (plein Est)	U12.8 mils / U128 clicks	L0.4 mils / L4 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 325m mais à 1000m on raterait le centre de la cible de 40 cm vers la droite et entre 10cm vers le haut ou 20 cm vers le bas selon l'angle de tir.

Si la cible est de type IPSC (0.75m de haut et 0.45 de large), l'impact latéral serait hors cible (d'environ une demi cible=>correction bord gauche), alors que le vertical en cible (correction finale selon l'angle de tir 11h ou 19h).

4.2 Influence de l'angle de tir vertical.

On titre plein nord (0°) avec Spin Drift et Coriolis activés, puis 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	U12.7 mils / U127 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
5	U12.6 mils / U126 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
10	U12.5 mils / U125 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
20	U11.9 mils / U119 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
30	U10.9 mils / U109 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
40	U09.7 mils / U97 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
45	U08.6 mils / U86 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 45 degrés aucune modification.

4.2.2 Tir vers le bas.

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

Look Angle (deg)	Elevation	Windage
0	U12.7 mils / U127 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-5	U12.6 mils / U126 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-10	U12.4 mils / U124 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-20	U11.7 mils / U117 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-30	U10.7 mils / U107 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-40	U09.3 mils / U93 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
-45	U08.4 mils / U84 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 -45 degrés aucune modification.

4.2.3 Conclusions.

Pour un tir à 200m

Entre -8 et +9 pas de modification à apporter aux corrections.

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

Donc pour un tir vers le bas à une distance directe de 200m avec un angle de -8° la hauteur maxi serait de 27.8m.

Et pour un tir vers le haut à une distance directe de 200m avec un angle de +9° la hauteur maxi serait de 31.2m.

Pas de corrections en dérive à apporter 😊

4.3 Éléments météorologiques.

4.3.1 Influence du vent

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

Tir à 1000m Spin Drift et Coriolis activé Tir plein Nord (0°).

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	U12.7 mils / U127 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
5 / 12 (de face)	U12.8 mils / U128 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
10 / 12 (de face)	U12.9 mils / U129 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
15 / 12 (de face)	U13.0 mils / U130 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
20 / 12 (de face)	U13.2 mils / U132 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
5 / 6 (de dos)	U12.5 mils / U125 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
10 / 6 (de dos)	U12.4 mils / U124 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
15 / 6 (de dos)	U12.3 mils / U123 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
20 / 6 (de dos)	U12.2 mils / U122 clicks	L0.4 mils / L4 clicks
5 / 3 (de gauche)	U12.7 mils / U127 clicks	R2.9 mils / R29 clicks
10 / 3 (de gauche)	U12.7 mils / U127 clicks	R6.2 mils / R62 clicks
15 / 3 (de gauche)	U12.7 mils / U127 clicks	R9.6 mils / R96 clicks
20 / 3 (de gauche)	U12.7 mils / U127 clicks	R12.9 mils / R129 clicks
5 / 9 (de droite)	U12.7 mils / U127 clicks	L3.7 mils / L37 clicks
10 / 9 (de droite)	U12.7 mils / U127 clicks	L7.0 mils / L70 clicks
15 / 9 (de droite)	U12.7 mils / U127 clicks	L10.4 mils / L104 clicks
20 / 9 (de droite)	U12.7 mils / U127 clicks	L13.7 mils / L137 clicks

Élévation :

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

- Vent de face la correction augmente de 0.1 à 0.5 mils.
- Vent de dos la correction diminue de 0.2 à 0.5 mils.

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

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 3.3 à 13.2 mils.
- Vent de droite la correction à apporter est vers la droite et va de 3.3 à 13.3 mils.

Ces corrections des différents effets s'additionnent ou se soustraient aux autres.

Exemple : $L4 + R33 = -4 + 33 = +29 = R29$

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 à 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 différente température doivent permettre d'introduire des couples dans le logiciel (il garde deux couples celui avec la température la plus basse et celui avec la plus haute et détermine les coefficients d'une droite).

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 aussi 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 (alpha) 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>