Éléments de Balistique externe

*Pour le tir à longue distance aux armes légères longues*

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

Date : 17.07.2024

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>

A TELECHARGER

**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](#_Toc172109794)

[2 Influence sur la trajectoire 4](#_Toc172109795)

[3 Élévation et Dérive 4](#_Toc172109796)

[3.1 Élévation (à revoir) 5](#_Toc172109797)

[3.2 Dérive (à revoir) 5](#_Toc172109798)

[3.2.1 Effet du vent 5](#_Toc172109799)

[4 Comparaison des différentes influences 6](#_Toc172109800)

[4.1 « Spin Drift » et Coriolis. 6](#_Toc172109801)

[4.2 Influence de l’angle de tir vertical. 9](#_Toc172109802)

[4.2.1 Tir vers le haut. 9](#_Toc172109803)

[4.2.2 Tir vers le bas. 10](#_Toc172109804)

[4.2.3 Conclusions. 10](#_Toc172109805)

[4.3 Éléments météorologiques. 10](#_Toc172109806)

[4.3.1 Influence du vent 10](#_Toc172109807)

[4.3.2 Atmosphère réelle 11](#_Toc172109808)

[4.4 Conclusions 12](#_Toc172109809)

[5 Définitions 14](#_Toc172109810)

[5.1 Balistique externe 14](#_Toc172109811)

[5.1.1 Coefficient Balistique 14](#_Toc172109812)

[5.1.2 Stabilité d’une balle 14](#_Toc172109813)

[5.1.3 Saut Aérodynamique (à compléter) 14](#_Toc172109814)

[5.1.4 Spin Drift 14](#_Toc172109815)

[5.1.5 Le vent 14](#_Toc172109816)

[5.1.6 Effet Coriolis 15](#_Toc172109817)

[5.2 Cible 15](#_Toc172109818)

[5.3 Projectile 15](#_Toc172109819)

[5.4 Système d’arme 15](#_Toc172109820)

[5.5 Tir 15](#_Toc172109821)

[5.5.1 Tir à Longue Distance (TLD) 15](#_Toc172109822)

[5.5.2 Tir à Très Longue Distance 16](#_Toc172109823)

[5.6 Angles 16](#_Toc172109824)

[5.6.1 Milliradian 16](#_Toc172109825)

[5.6.2 MOA 16](#_Toc172109826)

[5.7 Atmosphère Normée / Standard Atmosphere 17](#_Toc172109827)

[5.7.1 ICAO Atmosphere 17](#_Toc172109828)

[6 Références 18](#_Toc172109829)

[6.1 Applied Ballistics For Long-Range Shooting 18](#_Toc172109830)

[6.2 Accuracy and Precision For Long Range Shooting 18](#_Toc172109831)

[6.3 Elements of exterior and Terminal Balistics 18](#_Toc172109832)

[6.4 Formule de Didion 19](#_Toc172109833)

# 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.

# 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.*

# 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 dépendrons 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.

## Élévation (à revoir)

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 vent de face ou de dos et l’angle par rapport à l’horizontal.

## Dérive (à revoir)

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

Dans une moindre mesure le « Spin Drift ».

### Effet du vent

Le vent a 3 composantes :

* Une dans l’axe de la trajectoire (notons la Wa)
* Deux perpendiculaires à l’axe de la trajectoire
  + Horizontale (Wh)
  + Verticale (Wv)

L’effet de la résultante des composantes du vent, axiale Wa et Verticale Wv (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, Wh (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 = Wh\*(ToF – (OC/ V0))

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.

V0 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 |

# 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.

## « Spin Drift » et Coriolis.

Nous travaillerons d’abord en atmosphère normée type ICAO (voir § 5.7.1).

Carabine zérotée 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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 zérotage. |

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 | Inutile 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 |

La correction est 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 apparait 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 300 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.

## 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.

### 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.

### 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.

### 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 ☺

## Éléments météorologiques.

### 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 coté (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 coté (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.

### 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 téléphone.

#### 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 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.

#### 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 a très faible par rapport aux autres paramètres.

#### 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.

## 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.

# Définitions

## Balistique externe

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

### Coefficient Balistique

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

Article détaillé en Français.

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

### 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>

### Saut Aérodynamique (à compléter)

A ajouter…

Article détaillé en Français.

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

### 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/what-is-spin-drift-259>

### 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>

### 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>

## Cible

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

## Projectile

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

## 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)

## 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*](http://ballisticshooters.over-blog.com/2019/11/la-zone-transsonique-arelire.html)

### Tir à Longue Distance (TLD)

Il s’agit d’un tir ou 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.

### Tir à Très Longue Distance

Il s’agit d’un tir ou 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.

## Angles

### 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\*1000=0.9999996667

Ce qui est très très peu différent de 1mRAD

### 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(Alpha)=0.0254/91.44

Alpha=Arctan ( 0.0254/91.44 )

Alpha = 2.7777777e-4 rad

1 rad = 180/pi degré =180\*60/pi MOA

Alpha = 0.954929634 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.

## 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 fabriquant de munition devraient mentionner les conditions des tests.

### 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>

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,Phi)=9.80616\*(1-0.0026373\*cos(2\*Phi)+0.0000059\* cos(2\*Phi)\*cos(2\*Phi))

si h est l’altitude en m

r = 6'356'766 m le rayon de la sphère terrestre

g(h)=g(0,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.

# Références

Peu de livres en Français, dommage.

## Applied Ballistics For Long-Range Shooting

Auteur : Bryan Litz

Année : 2015 3ème édition

Éditeur : Applied Ballistics

ISBN : 978-0-9909206-1-8

Langue : Anglais

Niveau : tous

Utilisation : Pratique

## 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

## Elements of exterior and Terminal Balistics

Auteur : George Klimi

Année : 2021

Éditeur : Xlibris

ISBN : 978-1-6641-5656-2

Langue : Anglais

Niveau : Académique

Utilisation : Théorique

## Formule de Didion

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