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](mailto: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](#_Toc189660060)

[2 Influence sur la trajectoire 4](#_Toc189660061)

[3 Élévation et Dérive 4](#_Toc189660062)

[3.1 Élévation 5](#_Toc189660063)

[3.2 Dérive 5](#_Toc189660064)

[3.2.1 Effet du vent 5](#_Toc189660065)

[4 Comparaison des différentes influences 6](#_Toc189660066)

[4.1 « Spin Drift » et Coriolis. 6](#_Toc189660067)

[4.2 Influence de l’angle de tir vertical. 10](#_Toc189660068)

[4.2.1 Tir vers le haut. 10](#_Toc189660069)

[4.2.2 Tir vers le bas. 11](#_Toc189660070)

[4.2.3 Conclusions. 11](#_Toc189660071)

[4.3 Éléments météorologiques. 11](#_Toc189660072)

[4.3.1 Influence du vent 11](#_Toc189660073)

[4.3.2 Atmosphère réelle 12](#_Toc189660074)

[4.4 Conclusions 13](#_Toc189660075)

[5 Définitions 15](#_Toc189660076)

[5.1 Balistique externe 15](#_Toc189660077)

[5.1.1 Coefficient Balistique 15](#_Toc189660078)

[5.1.2 Stabilité d’une balle 15](#_Toc189660079)

[5.1.3 Saut Aérodynamique 15](#_Toc189660080)

[5.1.4 Spin Drift 15](#_Toc189660081)

[5.1.5 Le vent 15](#_Toc189660082)

[5.1.6 Effet Coriolis 16](#_Toc189660083)

[5.2 Cible 16](#_Toc189660084)

[5.3 Projectile 16](#_Toc189660085)

[5.4 Système d’arme 16](#_Toc189660086)

[5.5 Tir 16](#_Toc189660087)

[5.5.1 Tir à Longue Distance (TLD) 16](#_Toc189660088)

[5.5.2 Tir à Très Longue Distance 17](#_Toc189660089)

[5.6 Angles 17](#_Toc189660090)

[5.6.1 Milliradian 17](#_Toc189660091)

[5.6.2 MOA 17](#_Toc189660092)

[5.7 Atmosphère Normée / Standard Atmosphere 18](#_Toc189660093)

[5.7.1 ICAO Atmosphere 18](#_Toc189660094)

[6 Références 19](#_Toc189660095)

[6.1 Applied Ballistics For Long-Range Shooting 19](#_Toc189660096)

[6.2 Accuracy and Precision For Long Range Shooting 19](#_Toc189660097)

[6.3 Elements of exterior and Terminal Balistics 20](#_Toc189660098)

[6.4 Formule de Didion 20](#_Toc189660099)

# 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

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.

## 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.

### Effet du vent

Le vent a 3 composantes :

* Une dans l’axe de la trajectoire (notée Wx)
* Deux perpendiculaires à l’axe de la trajectoire
  + Horizontale (notée Wz)
  + Verticale (notée Wv)

L’effet de la résultante des composantes du vent, axiale Wx 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, Wz (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 = Wz\*(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 OC=1000m, un vent Wz=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).

# 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 : 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 fabriquant de la balle garantie le BC, la fabriquant 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’aire 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 avait 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 apparait 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 apparait 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).

## 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.

### 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.

### 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.

### 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 ☺

## Éléments météorologiques.

### 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 coté (gauche ou droite) les corrections sont inexistantes.

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 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

### 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.

#### 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.

#### 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

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

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>

### 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](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>