

L'évolution de la calibration balistique

Par : Bryan Litz

Résumé

Lorsqu'un tireur de précision moderne engage une cible à longue distance avec une carabine, la trajectoire balistique est d'abord calculée en tenant compte de : la distance, la gravité, le vent et d'autres variables. Pour des tirs à courte portée sur de grandes cibles, il est facile d'obtenir des données suffisamment précises pour le profil balistique. Mais à mesure que la distance augmente, il devient plus important de caractériser le profil balistique avec précision. À une certaine distance, la solution de tir devient tellement sensible aux erreurs dans le profil balistique qu'il devient nécessaire d'intégrer un retour d'expérience à partir de tirs réels. Ce retour peut être utilisé pour calibrer le profil balistique, de sorte que le calculateur reproduise la trajectoire réelle. Plusieurs variables peuvent être calibrées, et l'objectif de ce document est d'expliquer le raisonnement qui permet de déterminer quelle variable calibrer dans votre profil balistique.

Comprendre la calibration balistique – contexte et usage courant

La calibration balistique, également appelée "truing", consiste à calibrer une variable d'entrée dans votre calculateur balistique, afin que la solution de tir prévue corresponde à la trajectoire réelle observée par le tireur. Voici une liste des causes courantes d'erreurs dans les solutions de tir :

- La vitesse initiale (MV) n'est pas correcte pour la série de tirs en cours.
- Le coefficient balistique (BC) ou le modèle de traînée personnalisé (CDM) n'est pas parfaitement précis pour la balle.
- Le facteur d'échelle de la visée (SSF) : parfois, la lunette ne déplace pas correctement le réticule à chaque clic. Par exemple, vous pourriez régler 10.0 MILs, mais le réticule ne bouge que de 9.8 MILs.
- Le zéro : il est courant qu'un tireur ou une carabine voie un décalage du point zéro à cause de différentes variables.

Toute erreur parmi celles-ci entraînera une divergence entre la trajectoire calculée et la trajectoire réelle. La tâche du tireur, face à cette erreur, est d'identifier la cause probable de l'erreur et d'y remédier. Heureusement, une grande partie de ce travail peut être faite à 100 yards (ou mètres). À cette distance, vous pouvez : vérifier le point zéro, effectuer un "test de cible haute" pour vérifier la précision des réglages de la lunette, et mesurer votre vitesse initiale avec un chronographe. Si vous réalisez tout cela, vous aurez verrouillé les variables liées à la visée, ainsi qu'une mesure de la vitesse initiale, ce qui vous préparera au succès à longue portée — à condition que le BC ou le CDM de la balle soit exact.

Pour le tireur moyen de longue distance

Pour le tireur moyen de longue distance qui a effectué le travail à 100 yards, il aborde les tirs longue distance avec : une grande confiance dans son système de visée, une indication de la vitesse initiale (MV) fournie par un chronographe, et un modèle de balle (BC ou CDM) stipulé par un fabricant ou un tiers. Donc, si ce tireur rencontre une erreur de trajectoire à longue distance, il peut être certain que ce n'est pas un problème lié à la lunette (sauf si quelque chose a changé depuis le travail à 100 yards). Le coupable est donc probablement soit la MV, soit le BC/CDM de la balle.

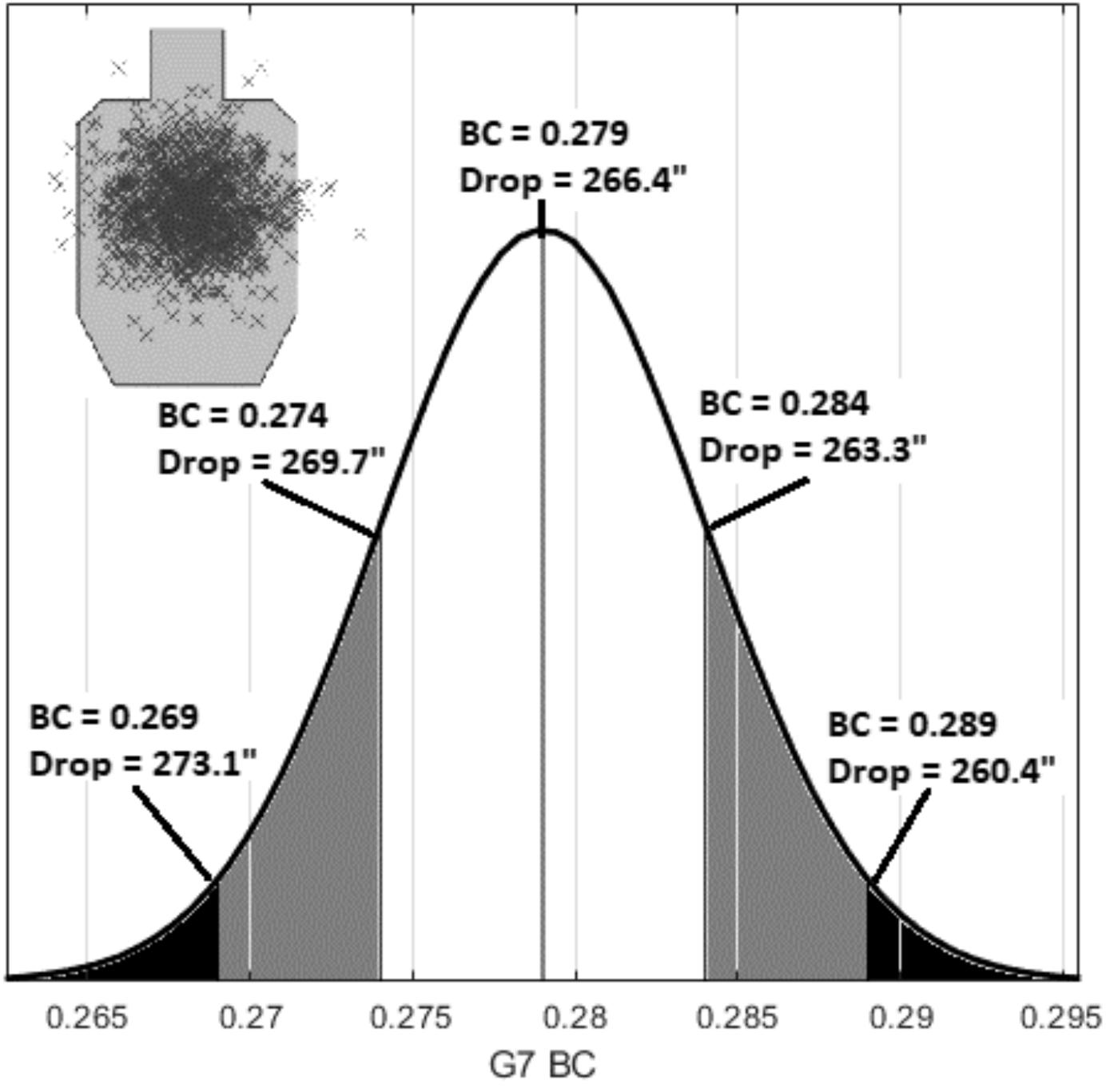
Jusqu'à récemment, il n'était pas vraiment courant de disposer de chronographes précis pour mesurer la MV. Les tireurs n'avaient soit aucune indication de la MV, soit une mesure douteuse, ce qui signifiait que la MV comportait presque toujours plus d'incertitude que les données BC/CDM sur la balle. Pour cette raison, les logiciels balistiques intégraient un moyen de calibrer la MV en fonction de la trajectoire observée par les tireurs. Cette capacité "intégrée" à ne calibrer que la MV a fonctionné efficacement pendant de nombreuses années. Même dans les cas où l'erreur de trajectoire pouvait être due à d'autres variables, calibrer la MV permettait de tout corriger, en causant peu de dommages à la solution à d'autres distances.

Récemment, avec l'arrivée et la prolifération des chronographes Doppler modernes comme le Garmin Xero, de nombreux tireurs peuvent désormais mesurer la MV avec précision, et plus fréquemment, compte tenu de la facilité d'utilisation de l'appareil. Il devient de plus en plus courant d'utiliser le chronographe pendant les tirs à longue distance, ce qui signifie que lorsque vous diagnostiquez une erreur de trajectoire, vous pouvez exclure une erreur de MV. Ce simple fait a changé le paradigme d'incertitude pour diagnostiquer les erreurs de trajectoire, et ce changement a conduit à une nouvelle innovation dans le logiciel balistique lui-même.

L'impact du progrès sur la calibration balistique

Maintenant que les tireurs ont accès à des données MV très précises, et peuvent éliminer les erreurs liées à la lunette grâce au travail à 100 yards, le seul coupable restant pour les erreurs à longue distance est une éventuelle erreur dans le modèle BC/CDM de la balle mesuré par radar Doppler. Mais comment une erreur peut-elle exister dans les mesures radar ? Ce n'est pas qu'il y ait une erreur dans la mesure, mais plutôt que différents canons peuvent produire une traînée légèrement différente sur la balle. Il existe plusieurs façons dont les canons individuels peuvent affecter la traînée aérodynamique des balles, comme : le pas de rayure / la stabilité de la balle ou la rugosité du canon qui se traduit par une traînée de friction sur la balle. Bien sûr, il existe aussi des différences mineures possibles entre les lots de production de balles. Pour ces raisons, les données BC/CDM mesurées par radar peuvent ne pas être parfaitement adaptées à chaque carabine.

Dans le passé, toute petite erreur dans le modèle BC/CDM était noyée par l'incertitude bien plus grande de la MV, et lorsque vous calibrez la MV, cela éliminait aussi toute petite erreur dans la modélisation de la traînée. Mais maintenant que la MV peut être précisément définie, il y a beaucoup moins d'erreurs de trajectoire, mais il est possible que toute erreur restante provienne principalement du BC/CDM.



G7 BC	Part des échantillons	Écart de chute (1000 yards)	Clics (élévation estimée)
≤ 0.269	2.5%	$\leq -6.7''$	-2 clics
0.269 à 0.274	14%	-6.7" à -3.3"	-1 clic
0.274 à 0.284	67%	-3.3" à +3.3"	+/-1 clic
0.284 à 0.289	14%	+3.3" à +6.7"	+1 clic
≥ 0.289	2.5%	$\geq +6.7''$	+2 clics

Dans la Figure 2, vous pouvez voir une distribution typique des BC mesurés pour la célèbre balle 6 mm 105 Hybrid. Ces données ont été recueillies pendant plusieurs années grâce au laboratoire mobile d'Applied Ballistics équipé d'un radar Doppler, mesurant les performances de l'équipement des tireurs lors de compétitions majeures. Ces données montrent l'éventail des BC possibles pour une même balle tirée depuis plusieurs canons, et provenant de différents lots de production.

En résumé, 67 % des échantillons testés présentent un BC compris entre 0,274 et 0,284. Cet intervalle correspond à une différence de chute de 6,6 pouces à 1000 yards. Autrement dit, +/- 3,3", soit environ un clic. 95 % des échantillons testés tombent dans une plage deux fois plus large, donc +/- 6,7" de chute à 1000 yards, ce qui correspond à +/- 2 clics d'élévation.

Ceci est un exemple réel de l'amplitude de variation du BC pour une même balle tirée par différentes carabines ; elle est d'environ +/- 2 clics à 1000 yards. Donc, si vous observez une erreur de cette ampleur ou moins, il est raisonnable de penser que l'erreur provient du modèle de traînée. En revanche, si vous constatez une erreur bien plus importante, la cause est probablement autre que le BC/CDM.

Comment le paradigme a évolué

Maintenant que nous sommes dans une situation où l'on peut vérifier non seulement le point zéro et les réglages de la lunette, mais aussi mesurer précisément la vitesse initiale, la dernière erreur restante susceptible d'affecter votre solution de tir est la différence entre la manière dont **vo**tre carabine tire les balles et la performance moyenne mesurée par Applied Ballistics pour cette balle.

Pour s'adapter à cette nouvelle réalité, Applied Ballistics a développé le **Custom Drag Factor – CDF**. Le CDF est simplement un facteur d'échelle en pourcentage appliqué au modèle de traînée de la balle. Par exemple, si vous modélisez un BC de 0,279, mais que cette prédiction vous fait tirer 3,3" trop haut à 1000 yards, votre BC réel pourrait être plus proche de 0,284. La fonction CDF d'Applied Ballistics fonctionne de la même manière que la calibration de la MV : vous saisissez la chute observée à une certaine distance, et le solveur calcule la valeur du CDF qui corrige la trajectoire pour l'adapter à votre impact réel. Il peut alors appliquer automatiquement ce CDF, modifiant la prédiction pour correspondre à ce que vous venez de tirer.

Le grand avantage du CDF comme mode de calibration, c'est qu'il est destiné aux tireurs qui ont vérifié toutes les autres variables avec un haut degré de précision mais constatent encore une petite erreur probablement due à une erreur mineure dans la modélisation de la traînée de la balle.

Avant de poursuivre, il convient de noter que le **Drop Scale Factor – DSF** est une autre option de calibration disponible depuis toujours dans le logiciel d'Applied Ballistics. Le DSF n'affecte ni la MV ni le BC. C'est un facteur de correction directe de la **chute**. Il calcule le pourcentage d'erreur dans la trajectoire et applique cette correction à la trajectoire au Mach correspondant à la vitesse terminale de la balle à la cible. Le DSF est principalement utilisé pour corriger les effets des dispositifs de visée augmentés, comme les bases réglables de lunette, ou les prismes et périscopes qui dévient l'image entrant dans la lunette. Parfois, ces dispositifs ne sont pas parfaits, et le DSF permet de compenser leurs imperfections. Une calibration DSF peut être ajoutée à une calibration CDF ou MV existante, vous permettant de définir la calibration en plusieurs parties pour correspondre à la balistique de votre carabine.

Faut-il calibrer la MV, le DSF ou le BC/CDM ?

Étant donné qu'il est possible de calibrer trois variables différentes, chacune permettant de **corriger à 100 %** votre solution de tir à la distance de calibration, les tireurs peuvent se demander comment choisir. Puisque chaque méthode donne la bonne solution à une seule distance, comment choisir la meilleure ?

Le DSF diffère des autres méthodes en ce qu'il peut être **défini par segments** (en « piecewise »), ce qui signifie que même si vous avez déjà calibré la MV ou le CDF jusqu'à une certaine distance, vous pouvez ajouter une calibration DSF pour une distance encore plus grande, ancrant votre trajectoire à **deux ou plusieurs points** (vous pouvez définir plusieurs points DSF). Voici un guide sur la méthode à choisir :

- Si vous n'avez aucune information (ou des informations peu fiables) sur la MV ou le BC de votre balle, ou que vous n'avez pas vérifié la lunette sur une cible haute, y compris les dispositifs d'augmentation comme les montures réglables, prismes ou périscopes : **utilisez la calibration DSF**. Cela n'affectera que la prédiction de la chute, pas les calculs balistiques pour la dérive due au vent ou l'énergie cinétique. Vous pouvez aussi utiliser le DSF **après** une calibration MV ou CDF, pour corriger la partie transsonique/supersonique de la trajectoire.
- Si vous avez effectué un test de cible haute, mais **n'avez pas de chronographe**, utilisez **la calibration MV**, car l'incertitude sur la vitesse initiale est probablement la cause principale d'une grande erreur de trajectoire.
- Si vous avez fait un test de cible haute **et** que vous utilisez un chronographe précis pendant les tirs longue distance, mais que vous constatez encore une erreur, sélectionnez **la calibration CDF** pour ajuster l'erreur dans le modèle de balle.

Rappelez-vous : vous pouvez ajouter des calibrations DSF à plusieurs distances **en plus** d'une calibration MV, CDF ou DSF initiale. Cependant, les calibrations MV et CDF ne peuvent être effectuées qu'**une seule fois**, et s'appliquent **depuis la bouche jusqu'à la cible**.

Exemple d'erreur selon la méthode de calibration

On peut corriger une trajectoire balistique avec l'une des trois méthodes, mais si la mauvaise est choisie, l'erreur apparaîtra à des distances **au-delà** de la portée de calibration (et parfois même avant). La première distance de calibration devrait être transsonique pour les carabines à percussion centrale. Le terme "transsonique" désigne la vitesse à laquelle la balle ralentit jusqu'à environ Mach 1.2, soit 1340 fps. Pour la plupart des cartouches, cela se situe entre 800 m et 1000 m.

Supposons que vous tiriez avec un 6.5 Creedmoor à 1000 m, et que vous constatiez une erreur de 0.4 MIL dans votre trajectoire par rapport à la prédiction. Les chiffres sont présentés dans le Tableau 1 pour référence.

	MV	BC	1000m	1500m	
Start with	2720	0.322	10.0	22.0	
True MV	2680	0.322	10.4	22.9	-40 fps from MV
True BC	2720	0.303	10.4	23.5	-6% from BC

En commençant par la première ligne, vous partez avec une MV et un BC connus. La solution prédit 10.0 MILs à 1000 m, mais vous constatez que vous devez réellement tirer à 10.4 MILs pour toucher le centre. Si vous avez vérifié la lunette sur cible haute, vous pouvez exclure une erreur d'optique. L'erreur vient probablement de la MV ou du BC. Il faudrait un écart de 40 fps de MV, ou une variation de 6 % du BC pour justifier cette erreur de 0.4 MIL à 1000 m.

Jusqu'à 1000 m, il y aura peu d'erreur, car la solution est "bornée". Mais que se passe-t-il **au-delà** ? Cela dépend totalement de la variable calibrée.

Selon le Tableau 1, MV et BC peuvent tous deux donner la solution de 10.4 MIL à 1000 m. Mais comme leurs effets diffèrent à différentes distances, ces méthodes produisent des solutions différentes à 1500 m : 22.9 MIL pour une calibration MV, et 23.5 MIL pour une calibration BC. Laquelle est correcte ? Vous ne pouvez pas le savoir encore. Vous savez seulement qu'à 1000 m, vous aviez 0.4 MIL d'erreur à corriger. Si vous avez choisi la calibration MV, et que c'était bien l'erreur dominante, la solution sera aussi correcte à 1500 m. Mais si le problème était en réalité le BC, et que vous avez calibré la MV, alors vous prédirez 22.9 MIL à 1500 m, mais la trajectoire réelle sera de 23.5 MIL — soit **0.6 MILs d'erreur**. C'est le coût d'avoir calibré la mauvaise variable.

Conclusion

La calibration balistique traditionnelle reposait principalement sur la vitesse initiale (MV) comme variable la plus influente, en raison de son incertitude historique. Récemment, les chronographes de pointe sont devenus accessibles, permettant aux tireurs d'obtenir des mesures précises et en temps réel lors de tirs longue distance. Une fois la MV définie, la source d'erreur la plus importante devient alors le modèle de traînée de la balle, qui peut ne pas correspondre parfaitement à l'équipement du tireur. C'est pourquoi un nouveau mode de calibration a été développé : ajuster le BC/CDM pour que la trajectoire prédite corresponde à la réalité, en utilisant les données MV issues d'un chronographe précis. En permettant aux tireurs de calibrer les bonnes variables, les solutions balistiques deviennent plus fiables, même au-delà des distances de calibration.