

## **UN BREF COURS DE BALISTIQUE**

*Ces informations sont tirées d'un document disponibles sur le site Web de HORUS-VISION (Système de tir associé à la lunette de visée) et basé sur le logiciel AtragXX. Traduction F.Papezyk-1Février 2003- [francois.papezyk@wanadoo.fr](mailto:francois.papezyk@wanadoo.fr)*

Si vous êtes tireur à longue distance, vous devez lire soigneusement cet article écrit par William Davis maître en balistique, qui donne dans un anglais simple une explication concise et instructive sur la façon do les facteurs principaux en temps réel , influencent la trajectoire d'une balle.

**EFFET DE LA TEMPÉRATURE DE LA MUNITION SUR LA VITESSE A LA BOUCHE DU CANON**

**EFFETS DU COEFFICIENT BALISTIQUE SUR LE VOL DE LA BALLE.**

**EFFETS DU TIR VERS LE HAUT OU EN DESCENDANT.**

**EFFET DE LA ROTATION DE LA TERRE SUR LE VOL DE LA BALLE**

**EFFET DU VENT SUR LE VOL DE LA BALLE.**

**EFFET DE DÉRIVE SUR LE VOL DE LA BALLE.**

**LES ÉLÉMENTS DE LA DISPERSION.**

**EFFET DE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE SUR LE VOL DE LA BALLE.**

**EFFET DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR SUR LE VOL DE LA BALLE.**

**EFFET DE L'HUMIDITÉ RELATIVE (RHÉSUS) SUR LE VOL DE LA BALLE.**

### **1- EFFET DE LA TEMPÉRATURE DE LA MUNITION SUR LA VITESSE A LA BOUCHE du CANON**

Chacun sait ou suppose que la vitesse initiale d'une balle est un facteur d'importance fondamentale qui détermine sa trajectoire. Par conséquent, il est nécessaire pour le tireur de connaître cette vitesse (de la balle) afin de savoir ou viser et comment ajuster son tir. La meilleure évaluation de la vitesse est obtenue en effectuant des mesures minutieuses avec les munitions destinées à l'arme et de préférence, approximativement, à la température habituelle d'utilisation de ces munitions.

Il y a deux types de facteurs, aléatoires et systématiques, qui déterminent la vitesse de la balle pour n'importe quel tir. Un certain nombre de facteurs aléatoires inévitables, d'un tir à l'autre (entre tirs), entraînent une variation de la vitesse initiale et affectent le mouvement propre du projectile de manière imprévisible. Le tireur réduira au minimum cette variation aléatoire par le choix des munitions qui auront démontré leur régularité au cours des mesures rigoureuses de vitesse. *(Note du traducteur : d'où la nécessité de la stabilité du rechargement)*

La température de la munition est la source principale de variation systématique de la

vitesse initiale, en supposant que ces munitions sont utilisées dans la même arme avec laquelle la vitesse de référence a été établie. Malheureusement, l'effet de la température sur la vitesse initiale change considérablement d'une charge à l'autre d'où l'importance de mesurer la vitesse à la température d'utilisation habituelle de la munition.

Un rapport écrit par Barbara Wagoner du Laboratoire de Recherches Balistiques de l'Armée de Terre Américaine contient une analyse d'un grand nombre d'essais de mesure de vitesse de munitions s'étendant du calibre de 5.56mm au 30mm, chargés avec des poudres simple-base ou des poudres double-base, et mises à feu à différentes températures de  $-50^{\circ}\text{C}$ . à  $+75^{\circ}\text{C}$ . Si on réunit les résultats de tous les divers types de munitions (sont réunis), les données indiquent un changement (typique) de vitesse d'approximativement 0,4 pour cent pour un changement de  $12^{\circ}\text{C}$ . de la température de la munition. Ceci implique, par exemple, qu'on s'attendrait à ce qu'une charge qui produit une vitesse moyenne de 3000 fps ( 914 m/S à  $+21^{\circ}\text{C}$ . donne approximativement 3024 fps (921 m/S à  $+32^{\circ}\text{C}$  et approximativement 2976 fps (907 m/S à  $+4^{\circ}\text{C}$ . Ces différences sont significatives si des cibles doivent être engagées à grande distance et font souligner le fait que des relevés fiables de vitesse pour les munitions dont la température est raisonnablement proche de la température à laquelle elles seront utilisées soient nécessaires.

## **2-EFFETS DU COEFFICIENT BALISTIQUE SUR LE VOL DE LA BALLE**

Le coefficient balistique d'une balle est la mesure de sa capacité à se déplacer dans l'air avec une résistance minimale. Cette résistance s'appelle la traînée aérodynamique, et son effet le plus significatif est de réduire la vitesse de la balle et d'augmenter de ce fait son temps de vol. Une augmentation du temps de vol augmente la chute verticale de la balle par rapport à sa ligne originale de départ, et donc elle augmente également la correction verticale ou l'ajustement exigé pour atteindre des cibles à différentes distances.

Un autre résultat important de la traînée aérodynamique est qu'elle rend la balle susceptible de déviation au vent, qui est un changement horizontal de la direction dans la trajectoire de la balle, provoqué par le vent soufflant par le travers de la ligne de visée. Contrairement à ce que beaucoup de gens supposent, l'effet du vent de travers sur le chemin de la balle ne dépend pas principalement du temps de vol de la balle, mais de la durée pendant laquelle la balle est retardée dans sa trajectoire vers la cible par la traînée aérodynamique. N'importe quelle augmentation du coefficient balistique de la balle tend à réduire ce temps de retard, et il peut en être ainsi quoique le gain en coefficient balistique soit réalisé aux dépens d'une vitesse inférieure et d'un plus long temps de vol.

L'exemple suivant illustrera ce point.

Considérons d'abord une charge de calibre .308 qui se compose d'une balle de 150-grains ayant un coefficient balistique de  $C1=.400$ , avec une vitesse initiale de 2850 fps(868 m/S). Nous pouvons calculer que son temps de vol à 700 yards (640 m), par exemple, est environ 1,027 secondes, et que son déviation au vent dans un vent latéral de 10-mph(16 km/h )serait environ 51 pouces( 1.29 m.)

Comparons maintenant cette charge de calibre.308 à la précédente en utilisant une balle de 180-grains de forme semblable, qui aurait un coefficient balistique d'environ  $C1=.480$ . La vitesse

initiale possible avec la balle plus lourde et une pression de chambre comparable serait seulement environ 2600 fps (792 m/S) et le temps du vol à 700 yards (640 m) serait grimpé jusqu'à 1,070 secondes. Néanmoins, le débattement au vent serait réduit réellement d'environ dix pour cent, de 51 pouces (1,29 m) à 46 pouces (1,16 m) à 700 yards (640 m), ceci étant dû au coefficient balistique plus élevé de la balle de 180-grains.

Les coefficients balistiques des balles sportives commerciales aux Etats-Unis sont presque invariablement basés sur la comparaison avec " le projectile G1 standard " de référence qui a un diamètre et un poids indiqués, et une forme particulière. Un coefficient balistique basé sur la forme du projectile G1 est correctement identifié en tant que " C1 " pour le distinguer d'autres coefficients balistiques possibles tels que " C5 ", " C6 ", " C7 ", " C8 etc. qui ont été largement répandus dans des sources militaires se rapportant à des projectiles de diverses formes différentes. La référence au coefficient balistique (ou parfois " les B.C. ") d'une balle commerciale aux Etats-Unis devrait être interprétée comme étant par défaut le coefficient balistique C1 à moins que la source spécifie une autre référence.

La plupart des fabricants des balles sportives commerciales de fusil fourniront les valeurs (C1) des coefficients balistiques de leurs balles sur demande, et plusieurs fabricants incluent cette information dans les manuels de rechargement qu'ils éditent. Un fabricant, SIERRA, liste plusieurs coefficients balistiques C1 différents pour chaque balle, chaque coefficient balistique étant prévu pour s'appliquer à des plages différentes de vitesse. Pour la balle SIERRA tirée à une vitesse d'au moins de 2500 fps (762 m/S), le coefficient balistique indiqué par Sierra pour une vitesse de 2500 fps produira généralement des résultats satisfaisants aux distances qui présentent un intérêt pratique pour le tireur.

### **3-EFFETS DU TIR VERS LE HAUT OU EN DESCENDANT**

La chute verticale d'une balle au-dessous de sa ligne du départ est pratiquement identique si la cible est en dénivelée positive ou négative (ascendante, ou descendante) ou au même niveau que l'arme. Cela n'implique pas, cependant, que l'ajustement de visée ou la correction exigée pour atteindre une cible à n'importe quelle distance soient inchangés par la pente de la ligne arme-cible. La raison de cette contradiction apparente est que les effets d'une correction ou d'un ajustement d'altitude de la visée sont dans un plan perpendiculaire à la ligne de visée, qui, dans le cas d'un tir avec dénivelée (ascendant ou d'un tir incliné), ne sont pas identiques à ceux effectués dans le plan vertical dans lequel la chute de la balle est mesurée. La raison pour laquelle nous devons tenir compte de la pente de la ligne de arme-cible est illustrée dans les exemples suivants.

Supposons que nous tirions une balle de 180-grains de calibre 30 ayant un coefficient balistique de  $C1=0.450$  et une vitesse de sortie de 2600 fps (792 m/S), dans les conditions atmosphériques standards du niveau de la mer et nous avons réglé l'arme à 200 yards (182 m). Supposons maintenant que nous souhaitions tirer dans le noir d'une grande cible verticale à 700 yards (640 m) située au même niveau que l'arme. Nous pouvons calculer que, si nous devons tirer avec les réglages de tir prévus pour 200 yards (182 m), la balle se positionnerait environ 147 pouces (3,73 m) plus bas que le point visé sur la cible verticale. Par conséquent, pour tirer dans le noir nous devons (1) déplacer la cible de 147 pouces (3,73 m) vers le haut ou (2) procéder à une

correction d'environ 21 MoA (147/7) .

Supposons maintenant que toutes les conditions soient identiques à celles décrites ci-dessus sauf que la grande cible verticale est sur un terrain plus élevé faisant un angle ascendant de 30 degrés. Puisque la chute verticale de la balle est identique, la balle atteindra la cible verticale à un point situé à 147 pouces (3,73 m) au-dessous du noir si nous tirons avec le réglage d'origine. Cependant, comme nous regardons la cible vers le haut suivant un angle de 30-degrés, la ligne verticale entre l'impact et le centre de la cible semblera être moins important que 147 pouces en raison de l'angle sous lequel nous avons visé.

Nous pouvons calculer par la trigonométrie qu'une ligne verticale de 147 (3,73 m) pouces de long semblerait mesurer seulement environ 127 pouces (3,25 m) ( $147 \cdot \cos 30^\circ$ ) lorsqu'elle est vue d'un endroit situé à 30 degrés plus bas. Par conséquent, nous pourrions être dans le noir de la cible(1) en visant 127 pouces plus haut ou (2) par une correction d'élévation d'environ 18 moa ( $127/7$ ) de notre visée.

Par un raisonnement identique, nous pouvons voir qu'une ligne verticale de 147-pouces (3,73 m) semblerait mesurer environ 127 pouces (3,25 m) de long une fois vue à 30 degrés au-dessus de la cible aussi bien qu'à 30 degrés en-dessous, et donc la même d'élévation doit être faite dans l'un ou l'autre cas.

#### **4-EFFET DE LA ROTATION DE LA TERRE SUR LE VOL DE LA BALLE**

L'effet de Coriolis sur la trajectoire d'un projectile est une conséquence de la rotation de la terre, et le fait que la surface de la terre soit courbée plutôt que plate comme nous l'estimons généralement pour résoudre la solution des problèmes dans la balistique extérieure. L'importance et la direction de l'effet de Coriolis dépendent de la situation de l'arme (sa latitude) et de la direction horizontale (azimut) selon laquelle l'arme est orientée. L'effet de Coriolis est si petit par rapport à d'autres effets sur le chemin du projectile qu'on ne le prend pas en compte d'habitude excepté dans la cas de tirs d'artillerie à longue portée, mais naturellement il a réellement un certain effet sur tous les projectiles.

Une manière légèrement simplifiée de visualiser le problème est de considérer que, en raison de la rotation de la terre, une cible " stationnaire " n'est pas vraiment immobile comme nous l'estimons normalement, mais se déplace constamment. En conséquence, le point de la cible vers lequel le projectile a été dirigé se sera déplacé d'une petite distance (relativement par rapport à l'arme) pendant le temps où le projectile est en vol. Dans ce sens, la correction pour compenser l'effet de Coriolis est semblable à l'anticipation exigée pour atteindre une cible mobile.

L'effet de Coriolis sur des projectiles tirés au nord ou au sud est entièrement horizontal, et il est entièrement vertical sur des projectiles tirés à l'est ou à l'ouest (est entièrement vertical). L'effet sur des projectiles tirés dans n'importe quelle autre direction est horizontal et vertical, la part de chacune de ces composantes dépend de la direction horizontale (azimut) dans laquelle l'arme était pointée.

#### **5-EFFET DE VENT SUR LE VOL DE LA BALLE**

L'effet le plus important du vent sur le vol de la balle est de changer sa direction horizontale. Dans le langage de l'artillerie, les angles dans le plan horizontal s'appellent les angles de débattement, et ainsi l'effet d'un vent de travers sur le chemin de la balle s'appelle correctement l'effet de débattement du vent bien que le terme "dérive de vent" soit souvent employé au lieu de cela, plutôt de manière imprécise,.

Pour engager des cibles à grande distance, le tireur doit apprendre à estimer les paramètres de la vitesse de vent. La vitesse et la direction du vent peuvent être mesurées par les instruments appropriés, ou être estimées par les observateurs expérimentés à partir des signes tels que le mouvement des feuilles et de l'herbe, et de l'aspect du "mirage" qui est le profil onduleux de la déformation vue par un télescope puissant et provoqué par la réfraction de la lumière passant par des vagues d'air chaud montant de la terre. Les drapeaux de vent et d'autres indicateurs sont placés à différentes distances pendant la durée de certaines compétitions pour faciliter l'estimation des effets du vent.

Le débattement dû au vent dépend de son orientation. Un vent de 10-mph soufflant de 3 heures ou de 9 heures a une résultante de 10 mph (16 km/h). Les vents 10 mph de 2, 4, 8 ou 10 heures ont une résultante d'environ 8,7 mph (14 km/h), alors que les vents de 1, 5, 7 ou 11 heures ont une résultante de 5,0 mph (8 km/h). Les vents soufflant de 6 ou 12 heures n'ont aucune influence.

La vitesse et la direction de vent ne sont pratiquement jamais uniformes tout au long de la trajectoire (distance de l'arme à la cible), et ainsi le tireur en estimant l'influence du vent doit décider de concentrer son attention sur le vent près de l'arme ou sur le vent le plus proche la cible. La réponse est que les conditions de vent près de l'arme ont un effet beaucoup plus grand que les conditions près de la cible. Deux exemples hypothétiques illustreront ce point. Pour les deux exemples, supposons que nous tirions une balle de calibre 30 de 150-grains ayant un coefficient balistique de  $C_1=0.400$  et une vitesse de bouche de 2800 fps (853 m/S), vers une cible à 500 yards (457 m).

Pour le premier exemple, supposons qu'un vent 10-mph parfaitement uniforme souffle de 9 heures à travers les 100 premiers yards (91,4 m), et qu'il n'y ait aucun vent entre 100 yards (91,4m) et 500 yards (457m). Considérons maintenant la situation quand la balle a atteint 100 yards (91,4m). Nous voyons que le débattement du vent est d'environ 0,8 pouces (2.03 cm), ce qui signifie que la balle est maintenant 0,8 pouces (2.03 cm) à droite de la ligne de visée, mais également que sa trajectoire est déviée vers la droite sous un angle de 1,6 MoA environ. Sans subir davantage l'influence du vent pendant la distance restante de 400-yards, la trajectoire dans le plan horizontal sera droite, mais l'angle horizontal de 1,6 MoA acquis à 100 yards la portera à 6,4 pouces (16.2 cm) plus à droite de la ligne de visée, pour un effet total de débattement du vent de 7,2 pouces (18 cm) à 500 yards.

Pour le deuxième exemple, supposons que les conditions de vent de l'arme jusqu'à 400 yards sont parfaitement calmes, mais qu'un vent de 10-mph (16 km/h) souffle en rafales à 9 heures de 400 à 500 yards. La direction horizontale de la balle demeure orientée sur la cible dans la zone calme jusqu'à 400 yards, où sa vitesse restante est 1959fps (597m/S) environ, quand elle rencontre soudainement le vent latéral à 10-mph (16 km/h). Le vol de la balle entre 400 et 500 yards sera identique à celui d'une balle tirée de la même façon vers une cible situé à 100 yards

avec une vitesse de bouche 1959fps (597m/S), pour laquelle nous constatons que le débattement de vent serait environ 1,3 pouces (3.3 cm).

## 6-EFFET DE DÉRIVE SUR LE VOL DE LA BALLE

La dérive est un des phénomènes qui contribuent à la déviation horizontale d'une balle (stabilisée par sa rotation) dans le plan vertical de sa ligne du départ.

La dérive est une conséquence fortuite du mouvement gyroscopique, qui elle-même est essentielle pour l'exécution satisfaisante de la trajectoire du projectile (balle stabilisée par sa rotation). Ce sont les contraintes exercées par l'air qui forcent l'axe d'un projectile à changer constamment sa direction pendant que la trajectoire s'oriente vers le bas, de sorte que le projectile pointe vers l'avant avec son axe presque parallèle à la direction dans laquelle il se déplace. L'angle entre l'axe d'un projectile et la direction dans laquelle il se déplace s'appelle le lacet.

Après qu'un projectile (balle stabilisée par sa rotation) ait récupéré des effets de certaines perturbations qu'il a rencontré pendant le lancement, il entre dans un mouvement de lacet relativement petit qui s'appelle le lacet de repos. Au lacet de repos, l'axe est légèrement incliné ascendant et vers la droite pour des projectiles tirés dans une arme rayée à droite, ou vers le haut et vers la gauche pour des projectiles tirés dans une arme rayée à gauche.

C'est la composante horizontale du lacet de repos qui cause la dérive. Pour le projectile tiré dans une arme rayée à droite, la composante horizontale du lacet de repos est vers la droite, ce qui permet à la pression atmosphérique, du côté gauche du projectile, d'être plus grande que la pression atmosphérique du côté droit, forçant de ce fait le projectile à dériver vers la droite. La composante horizontale du lacet de repos tend à augmenter lorsque la trajectoire s'oriente en pente rapide vers le bas, et donc la dérive augmente toujours plus rapidement avec l'augmentation de la distance. Les directions horizontales sont naturellement inversées, pour des projectiles tirés dans une arme rayée à gauche.

Le calcul de la dérive est relativement compliqué, et ce calcul exige très exactement des informations détaillées sur le projectile qui ne sont pas disponibles pour des projectiles de petit calibre excepté pour quelques uns qui ont des applications militaires à grande distance.

Puisque la contribution entière de la dérive à la déviation horizontale de la trajectoire est relativement petite, le manque d'informations détaillées sur chacune des nombreuses et différentes balles qui pourraient être employées pour le tir à longue distance n'affectera pas sérieusement l'exactitude pratique des résultats.

## 7-LES ÉLÉMENTS DE LA DISPERSION

Dans la description de la répartition des impacts sur une cible, la dispersion se rapporte à la dispersion des projectiles autour du centre du point visé. Une petite dispersion est synonyme de ce qui s'appelle généralement la bonne précision et une grande dispersion est synonyme de ce qui s'appelle généralement précision faible.

Les causes de la dispersion sont parfois divisées en deux classes. La première, qui peut s'appeler l'erreur de visée se rapporte à des erreurs dans la direction dans laquelle l'arme était alignée lors du départ du coup . La seconde, qui peut s'appeler la dispersion balistique, se rapporte à des déviations de la balle de son chemin prévu vers la cible après qu'elle ait quitté l'arme.

Dans le sens le plus restreint, la limite d'erreur de visée peut se rapporter au degré d'exactitude avec lequel le tireur a aligné sa ligne de mire vers le point visé à l'instant de la mise à feu. Dans un sens plus général, cependant, l'erreur de visée inclut également l'erreur du tireur dans le choix de son point de visée. Ainsi, par exemple, si la distance arme cible est beaucoup plus grande que la distance pour laquelle l'arme a été conçue , et si le tireur n'ajuste pas son point de visée ou sa ligne de mire afin de corriger cette situation , alors l'erreur d'angle d'élévation ainsi présentée devient une partie de l'erreur totale indépendamment de la régularité avec laquelle il tire avec son arme.

La dispersion balistique dépend principalement de la qualité du fusil et des munitions. Si le tireur peut faire des groupements d'une manière satisfaisante avec de petits projectiles aux distances courtes telles que 100 yards ou 100 mètres, cela tient à la qualité du fusil et aux propriétés qui déterminent la qualité des munitions. Les performances du système arme/munitions ne peuvent pas être transposées aux longues distances à partir des groupements obtenus aux courtes distances, parce que la dispersion verticale aux longues distances dépend très fortement de la variation de la vitesse initiale entre chaque tir, tandis que l'exactitude à courte portée est souvent tout à fait peu sensible à ces variations de vitesse.

Considérant que la dispersion balistique dépend de la qualité du fusil et des munitions, l'erreur de visée dépend de la compétence du tireur et des possibilités du système optique.

Les informations sur les conditions d'environnement doivent être fournies par le tireur ou par son entraîneur ou son observateur. Les divers éléments de cette information sont plus ou moins importants, selon / en fonction de la distance de la cible et de l'importance relative de l'effet de chaque élément de la trajectoire. La vitesse initiale, le coefficient balistique, la distance, les conditions de vent et la vitesse de la cible (dans le cas d'une cible mobile) ont des effets relativement grands tout au long de la trajectoire depuis l'arme jusqu'à la cible et doivent donc être connus le plus exactement.

Les différences modérées de la dénivelée entre l'arme et la cible(dans la pente ascendante et inclinée de la ligne de visée arme-cible) n'ont que des effets modérés sur la trajectoire, et donc des approximations raisonnables de l'angle montée/descente seront généralement satisfaisantes. La dérive (qui est provoquée par le mouvement gyroscopique de la balle) et les effets de Coriolis (qui sont provoqués par la rotation et la sphéricité de la terre) ont des effets relativement insignifiants sur la trajectoire , et ils ne sont souvent pas pris en compte dans le calcul des trajectoires relativement plates qui sont caractéristiques des armes à feu. Néanmoins le système SAMMUT/HORUS est prévu pour prendre tous ces facteurs en compte , parce que tous apportent au moins une certaine petite contribution à l'ensemble de l'erreur de visée.

On doit reconnaître, cependant, que ni l'erreur de visée ni la dispersion balistique ne peuvent jamais être réduites à zéro, et donc si une cible est atteinte par le projectile ceci est une question de probabilités, selon la taille de la cible, la compétence du tireur, l'exactitude des informations

sur les conditions dans lesquelles le rechargement sera fait, et la dispersion balistique du système arme/munitions. Le tireur devrait apprendre par expérience et identifier normalement les limites longues des distances auxquelles le divers types de cibles peuvent être engagés avec une probabilité raisonnable de succès.

## **8-EFFET DE LA PRESSION BAROMÉTRIQUE SUR LE VOL DE LA BALLE**

La pression barométrique affecte les performances d'une balle parce qu'elle affecte la densité de l'air dans lequel la balle doit voyager. La pression barométrique dépend principalement de l'altitude, et à un degré beaucoup moindre des variations dans l'atmosphère qui produisent les hautes et les basses pressions barométriques que nous entendons dans les prévisions météorologiques.

Les pressions barométriques données dans les prévisions météorologiques ne sont pas des pressions réelles; elles ont été ajustées pour éliminer l'effet de l'altitude. Les pressions ajustées données dans les prévisions météorologiques sont normalement comprises entre 29 et 31 pouces de mercure (736 et 787 millimètres de mercure), bien que la pression barométrique réelle à Denver (qui est au-dessus de 5000 pieds –1524 m) soit en général inférieure d'environ cinq pouces (127 millimètres de mercure) de moins que la pression dans une ville côtière telle que New York. Les pressions ajustées sont plus appropriées que les pressions réelles pour des prévisions de temps, et les utilisateurs des baromètres sont généralement invités à ajuster leurs baromètres sur la pression rapportée dans une émission locale de radio ou de télévision. Cet ajustement rend leurs lectures comparables aux lectures d'autres baromètres utilisés pour des prévisions de temps, mais les lectures sont alors peu convenables pour l'usage que nous en faisons.

Le tireur qui souhaite utiliser un baromètre pour déterminer la pression atmosphérique devrait se renseigner auprès d'un service où une lecture barométrique précise est disponible, comme une tour de contrôle d'aéroport ou un laboratoire de sciences ou dans une université. Il devrait expliquer clairement que l'information qu'il demande est la pression barométrique réelle courante et pas la pression après que l'ajustement pour l'altitude ait été appliqué. Il devrait ajuster son instrument sur place sur cette pression réelle, et dorénavant les lectures obtenues à partir de cet instrument refléteront non seulement l'effet de l'altitude, mais également l'effet des fluctuations de la pression dues aux conditions atmosphériques, mesurées localement par l'instrument. C'est cette pression barométrique réelle qui est réclamée quand l'utilisateur choisit d'entrer la pression barométrique mesurée localement dans le programme machine qui accompagne le système MMUT/HORUS.

Naturellement l'utilisateur du programme machine de SAMMUT/HORUS peut alternativement choisir d'entrer l'altitude (obtenue à partir d'une carte topographique, par exemple) plutôt que d'entrer manuellement la valeur de la pression barométrique. Dans ce cas, le programme calculera la densité de l'air, mais avec une précision légèrement, car basée sur les entrées de l'altitude et de la température dans lesquelles la pression barométrique est issue d'un calcul théorique.

## 9-EFFET DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR SUR LE VOL DE LA BALLE

La température de l'air affecte la traînée aérodynamique (" résistance de l'air ") produite par la balle dans son vol. Il y a deux raisons à ceci. La première et plus importante raison est que l'air froid est plus dense que l'air chaud. La deuxième raison est que la vitesse du son est inférieure en air froid à la vitesse du son en air chaud.

La première raison est plus facilement comprise. La plupart des personnes savent probablement que presque toutes les substances se contractent et deviennent plus denses lorsqu'elles sont refroidies, et donc que l'air froid est plus dense qu'un air plus chaud. Ils savent également que l'eau est beaucoup plus dense que l'air et presque chacun a noté que beaucoup plus d'efforts sont exigés pour marcher dans l'eau profonde que (ceux qui seraient exigés) pour marcher à la même vitesse le long de l'eau, entourée seulement par l'air. Plus le milieu dans lequel un corps passe est dense, plus l'énergie dépensée par le corps pendant sa traversée est importante et plus la vitesse chute.

La deuxième raison n'est pas intuitivement évidente, mais c'est un fait que l'air froid offre une plus grande résistance au passage d'une balle - particulièrement une balle supersonique - parce que la vitesse du son est inférieure en air froid à celle d'un air plus chaud. Une complète explication de ce phénomène serait trop conséquente pour être incluse ici, mais c'est un fait que la force de la traînée aérodynamique sur un corps rapide dépend du prétendu " rapport de Mach " qui est le rapport de la vitesse du corps mobile à la vitesse du son. Puisque la vitesse du son est inférieure en air froid, le « rapport de Mach » pour une balle à n'importe quelle vitesse particulière est également plus haut en air froid, et la force de la traînée aérodynamique est donc plus grande.

## 10-EFFET DE L'HUMIDITÉ RELATIVE (RH) SUR LE VOL DE LA BALLE

L'humidité relative affecte les performances d'une balle parce qu'elle affecte la densité de l'air dans lequel la balle vole. Contrairement à ce que beaucoup de gens supposent, l'air humide est moins dense que l'air sec dans les mêmes conditions de température et de pression barométrique, parce que le poids moléculaire de l'eau est moins grand que les poids moléculaires des principaux gaz (azote et oxygène) qui composent notre atmosphère. L'effet de l'humidité sur les performances des balles est petit par rapport à d'autres facteurs influents. L'humidité relative a un plus grand effet sur la densité d'air à température élevée qu'à basse température, mais même à 90° F(32°C). la différence de densité entre l'air complètement sec et l'air complètement saturé est seulement de 0,1%. Pour une balle type de 150-grains en calibre 30 ayant un coefficient balistique de  $C_1=400$  et une vitesse de bouche de 2800 fps (853 m/S), la différence de vitesse à 1000 yards (914 mètres) est environ 14 fps (4,2 m/S ), et la différence dans la chute de la balle est environ six pouces (15 cm).