

LE BENCHREST . 22 LR (Suite)

I. LES PHENOMENALES CARTOUCHES . 22 L.R.

Dans son précédent exposé, l'auteur s'était brièvement attardé sur un phénomène influençant la vitesse d'une cartouche d'une part, ainsi que sur quelques critères qualitatifs auxquels le tireur averti prêterait attention particulière.

L'objet de la présente démonstration a pour objectif de permettre au tireur d'affiner ses connaissances au niveau des autres phénomènes agissant sur un projectile dans le canon de sa carabine, à sa sortie, ainsi que durant l'envol de la balle.

Il s'agit donc d'une modeste entrée, un apéritif, dans le monde de la balistique tout en évitant les formules rébarbatives, le texte se voulant compréhensif et pédagogique.

Il ne s'agit ni plus ni moins, d'attiser la curiosité du tireur afin de le confronter à la multitude d'éléments surgissant dans la fraction de seconde suivant l'appui sur la détente et l'arrivée du projectile sur la cible.

A titre de rappel, un des éléments principaux affectant vitesse du son étant la température extérieure.

Le lecteur attentif se souviendra sans doute que du fait de la température (standard : 15°C en niveau de la mer, pression atmosphérique 1013,2 hP) la vitesse du son varie et influencera donc le comportement de la balle qui un jour peut s'avérer subsonique, et transsonique un autre jour.

Altitude en mètres	Température standard en altitude	Vitesse du son
0 / 0	15° C	330 m/s
1525	5,1° C	334 m/s
3050	- 5° C	327 m/s
4575	- 15° C	322 m/s
6100	-24,5° C	315 m/s
7620	-34,5° C	308 m/s
9150	-44,5° C	302 m/s

Cette variation de vitesse DANS L'AIR, PAS PAR RAPPORT AU SOL, entraînera toutefois des comportements différents du projectile tant dans le canon, qu'à sa sortie, que pendant son «envol»

Ce sont ces autres phénomènes qui seront abordés ci-dessous.

Mais, commençons par le comportement de la balle dès la percussion de l'amorce.

II . LE « CHAUFFAGE » DU CANON

Tout d'abord, la température de la cartouche (en fonction de l'air ambiant dans lequel elle a été exposée avant son utilisation) influence son comportement, et donc indirectement celle du canon.

Si d'aucuns estiment qu'il faut chauffer le canon pour que ce dernier manifeste «sa bonne humeur» et la précision des tirs, cette affirmation est un tant soit peu erronée.

En réalité, c'est la cartouche qu'il y a lieu de mettre à température. !

En effet, le point le plus chaud dans un canon 22 LR se situe entre l'entrée de la chambre sur une distance d'approximativement 5 à 6 centimètres.

C'est à cet endroit que la température issue de l'inflammation de la poudre peut atteindre 2.000 ° C pour certaines marques de cartouches et induit la température ambiante dans laquelle la cartouche suivante sera introduite.

L'on conçoit immédiatement l'effet qu'un tir continu et REGULIER provoque dans le canon 22 LR d'une carabine dite de « sport » ou de « chasse », comparé à un canon « lourd » de match.

La dispersion de chaleur sera en effet fonction de l'épaisseur, de la matière, de la qualité dudit canon.

Sachant également que dépendamment de la qualité de la munition (amorce, poudre, douille) des températures inférieures à 20 °C, et supérieures à 25 °C, affectent la régularité de l'inflammation : la marge est donc extrêmement faible.

Ceci est d'ailleurs la raison pour laquelle les fabricants de munitions de compétition attachent une importance toute particulière pour les munitions utilisées lors des compétitions « biathlon »

Etant tirées à des fréquences rapides, à des températures parfois extrêmement basses, la composition des munitions fait l'objet d'un procédé spécial de fabrication sur lequel l'auteur ne s'attardera pas.

C'est d'ailleurs également la raison pour laquelle les fabricants de munitions de qualité enduisent leurs balles d'un lubrifiant réduisant aux maximum les frictions de cette dernière durant son trajet dans le canon.

III. FEU... C'EST PARTI

Mais..., lorsque la balle atteint sa vitesse maximale dans le canon (après 35 à 40 centimètres) elle est déjà freinée par :

- 1) l'air ambiant qu'elle doit comprimer devant elle dans le canon, ce qui crée un champ de force devant la balle (voir plus loin dynamique des fluides)
- 2) si le tireur de précision n'y prend garde, par le dépôt de lubrifiant laissé sur les parois du canon.

En effet, en extrayant la douille après le tir, l'étanchéité causée par le gonflement de la douille entraîne une aspiration d'air frais par la bouche du canon, solidifiant un tant soit peu le lubrifiant non évacué lors du tir.

Il en va de même pour les résidus de poudre non enflammés, ces deux éléments causant un « effet obstructif » lors du tir suivant.

Lors des tirs de précision, l'astuce consiste donc à effectuer des percussions à des intervalles les plus réguliers possibles afin d'éviter, et le refroidissement du lubrifiant et des résidus de poudre, et la surchauffe de la nouvelle cartouche introduite.

OUFTI !!!

IV. LA MECANIQUE DES FLUIDES

Selon le théorème de Bernouilli (physicien 1738) tout fluide en mouvement autour d'un corps (profil) exerce un écoulement constant (laminaire) de ce fluide autour de ce corps.
(L'air est un fluide tout comme tout gaz ou liquide, quelle que soit sa densité)

Cependant, en accélérant le mouvement de ce fluide autour du corps, ou l'inverse (le corps dans le fluide) l'on crée une dépression (aspiration) autour de ce corps.

C'est ce phénomène qui a créé la possibilité de l'aile d'avion.
En effet, l'air circulant de façon laminaire et constante sur le dessus de l'aile crée une dépression au-dessus de celle-ci et permet la sustentation de l'aéronef.

En revanche, en créant une dépression à un endroit donné, l'on génère forcément une surpression à un autre endroit donné.

Le problème étant que ce théorème ne s'applique qu'à des vitesses relativement faibles (- de 400 km/heure). Au-delà, cela se complique. !

Nous avons vu précédemment que lorsqu'une balle évolue dans son canon, elle est sujette à la résistance de l'air qu'elle pousse devant elle. En d'autres mots, une forte pression se crée devant le projectile tant dans le canon qu'à l'extérieur.

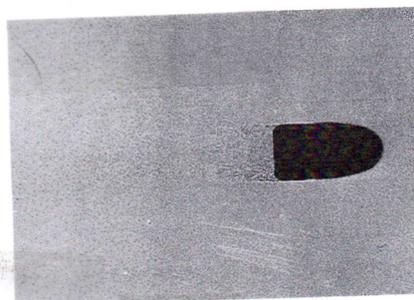
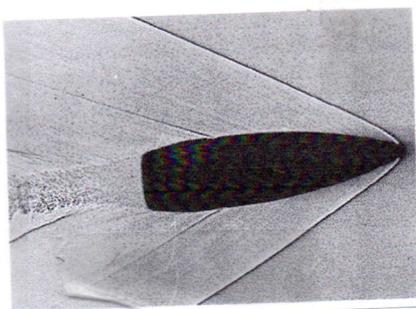
Etant donné que sa vitesse extérieure est supérieure à 400 km/h, qui dit surpression d'un côté, doit admettre une dépression de l'autre côté, ce qui entraînera un « décollement » de la couche laminaire (aussi appelée couche limite).

Le dessin de gauche démontre clairement les effets sur une cartouche .308 (7,62 x 51) se déplaçant à 850 m/s.

Le flux laminaire à la pointe de la balle (cône de Mach) se transforme en un flux turbulent à hauteur de la rainure de sertissage pour in fine, générer une forte turbulence à l'arrière du projectile.

Cette turbulence également appelée « traînée » de compression s'avère logique puisque pression d'une part, génère dépression d'autre part.

Ceci constitue les trois premiers phénomènes physiques affectant la trajectoire.

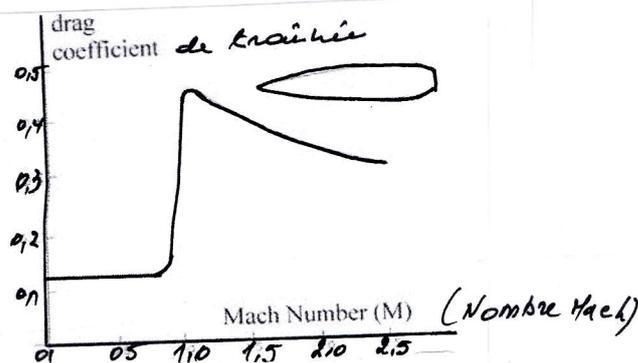


Le projectile de droite, quant à lui étant subsonique, les ondes de compressions sont inexistantes, la perturbation se limitant à une traînée turbulente (22 L.R. subsonique)

Toutefois, le passage d'une vitesse subsonique (330 m/s) à une vitesse transsonique (350 m/s) génère une zone d'instabilité due aux différences de pression agissant sur le projectile.

L'effet inverse (passage de transsonique vers subsonique) est de toute grande importance pour le tir de précision étant donné qu'à un moment donné, le ralentissement du projectile durant sa course induit des effets en sens contraire.

Le diagramme ci-dessous démontrant clairement les variations de la traînée en fonction de la vitesse du projectile.



V. UN «PARFUM» DE BALISTIQUE

Nous y voilà !

Le passage précédent nous faisait part des forces primaires agissant sur un projectile en mouvement.

Un premier groupe de nouvelles forces sont générées par la masse et agissent sur le centre de gravité statistique (CG) de la balle.

Elles dépendent de la masse totale et de sa répartition sur le corps du projectile.

Un deuxième groupe de forces aérodynamiques constituées par le champ de mouvement, par la forme, la surface et la rugosité de la balle influencent également son comportement.

Certaines forces aérodynamiques étant tributaires de la rotation et de l'angle induit durant la trajectoire.

Par angle induit (δ) l'on entend l'écartement de l'axe longitudinal du projectile par rapport à la direction définie par son centre de gravité.

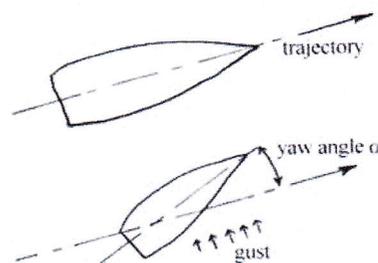
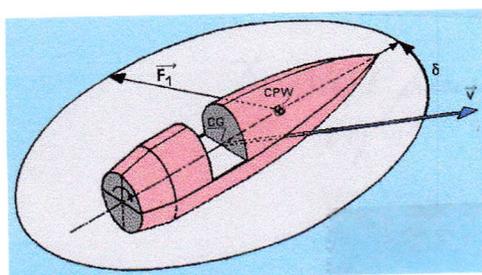
Multitude d'expériences ont démontré que cet angle induit (δ), est inévitable à la sortie de la balle puisque provoqué par les vibrations du canon et le flux des gaz brûlés s'écoulant contre ou le long du projectile.

Le projectile quittant le canon à une vitesse de rotation de +/- 50.000 t/m est comme déjà démontré plus haut, précédé d'un fluide en surpression.

Les différences de pression sur la surface du projectile génèrent une force latérale agissant sur le centre de poussée CPW (Center of Pressure Windforce) qui à son tour, agit devant le centre de gravité d'un projectile stabilisé par sa vitesse de rotation.

La position du centre de poussée n'est toutefois pas fixe mais se déplace à tout changement du champ de mouvement autour du projectile.

La figure ci-dessous démontre schématiquement clairement l'effet de la force latérale (F_1) sur le centre de poussée (CPW).

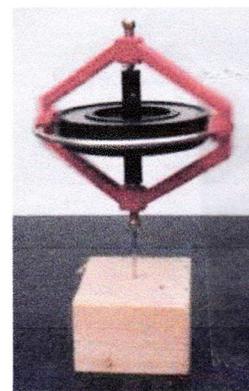
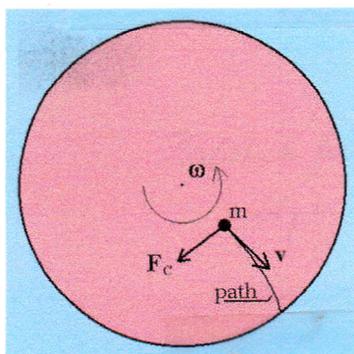


MAIS... tout ce qui tourne induit également d'autres forces..., en occurrence et dans notre cas :

- La force centrifuge,
- L'effet gyroscopique,
- La force de Coriolis (dit le « fou du virage » par quiconque eut à faire à lui pdt. ses études)

La force centrifuge étant connue par tous, nous ne nous attarderons pas en explications sans préciser toutefois que sans attache à un point fixe, tout objet en rotation effectuerait un mouvement rectiligne.

Pour modifier la vitesse et la direction d'un objet en rotation (par ex. le cas d'un virage) Monsieur Coriolis doit intervenir.



Imaginez un disque tournant à vitesse constante et sur lequel une masse (m) se déplace à vitesse constante vers le bord (v).

Le mouvement de la masse (m) sera influencé par la force (F_c -Coriolis) et la trajectoire sera donc modifiée.

Il surgit en effet un mouvement de retardement dû à la rotation du disque et chaque fois qu'une force sera appliquée sur un objet en rotation la réaction se manifestera 90° après l'endroit où cette force est appliquée.

Nous venons de faire la connaissance de la précession gyroscopique !

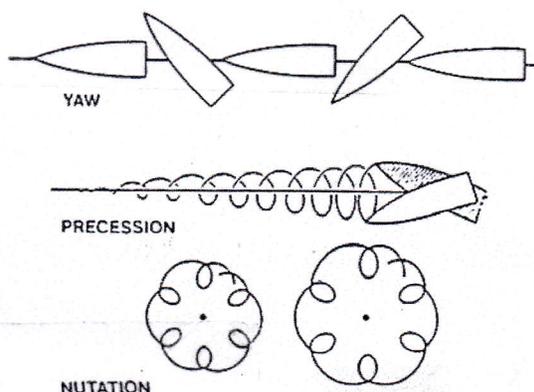
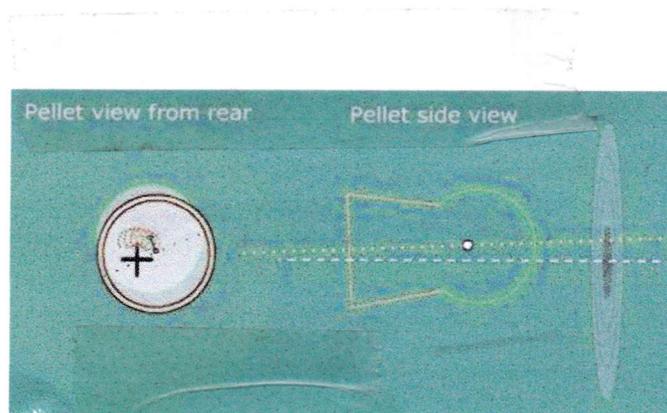
En démonstration : si nous avons un disque (gyroscope) tournant à une vitesse donnée dans le sens horlogique et que nous exerçons une légère pression sur celui-ci à par ex. 3 heures, ce disque s'inclinera 90° plus tard, c.a.d. vers 6 heures.

Ce principe s'applique bien entendu à notre balle, puisqu'elle tourne sur elle-même (et pas lentement) !

Il suffit donc que la moindre force (le vent, le souffle de la poudre brûlée, mauvais alignement de la balle dans le canon) agisse sur son centre de gravité pour qu'elle se mette à « précessionner ».

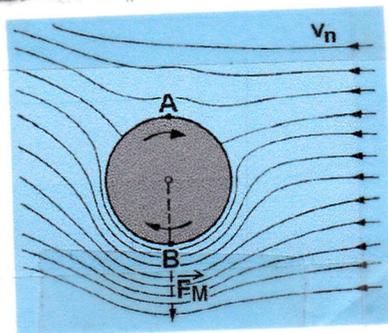
Dans ce cas bien précis, la trajectoire s'effectuera en forme de tire-bouchon dont l'effet s'accroîtra au fur et à mesure de son ralentissement durant la trajectoire.

Nous venons de découvrir un nouveau phénomène : la nutation ou « l'effet Magnus ».



Les figures ci-dessus démontrent clairement le déplacement de l'axe longitudinal tournoyant autour du centre de gravité, induisant l'effet tire-bouchon ou nutation.

Et pour les fins becs !



Sur la figure ci-dessus nous observons une balle de l'arrière et effectuant un mouvement rotatif vers la droite.

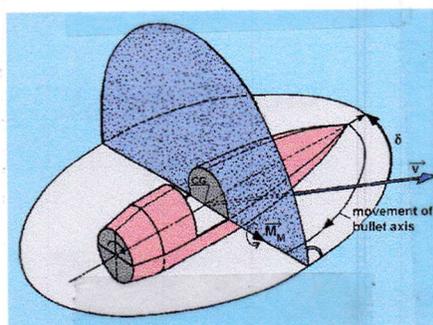
Nous imaginons également qu'elle subit un angle induit (δ) (page 4) vers la gauche de telle sorte à ce que son axe longitudinal s'incline également vers la gauche. Cela induit un vecteur vitesse (v_n) traversier par rapport à cet axe longitudinal.

Du fait de la rotation et de la rugosité de la surface de la balle des particules d'air s'y accrochent et le champ de mouvement devient asymétrique.

Les vitesses du flux d'air et de la rotation du projectile doivent être soustraites au point A et additionnées au point B.

Selon l'ami Bernouilli cela génère une surpression au point A et une dépression au point B, générant une force F_m (Magnus Force) vers le bas.

Nous sommes donc repartis en précession gyroscopique et en nutation.



Avons-nous fait connaissance avec toutes les forces influencent le comportement d'une balle dès l'inflammation de la poudre. ???

Et bien non !!!

VI. L'EFFET DES PRESSIONS THERMODYNAMIQUES

La cartouche . 22LR est de loin la plus utilisée par les tireurs sportifs et traîne fréquemment le sobriquet de «cartouche jouet » par les tireurs de gros calibres.

Loin s'en faut par contre, principalement au niveau de la précision, à condition toutefois de respecter les quelques éléments suivants :

Une cartouche . 22LR est «opérationnelle» sur une distance de 100 mètres. Au-delà de celle-ci la chute du projectile est telle qu'aucune précision n'est encore envisageable.

En effet, perdant 10% de sa vitesse après 50 mètres, elle se réduit de 20% après 100 mètres, ce qui dans ce dernier cas provoque un point d'impact de 15 à 17 cm. en dessous de la ligne de visée.

Selon les règles techniques une 22 LR doit pouvoir supporter une pression de 1900 bar tandis que par mesure de sécurité, le canon doit supporter une pression de 125% de cette « pression cartouche » avant d'être autorisé à la vente.

Sous conditions normales une pression de 1275 bar est générée lors de l'inflammation de la poudre.

Lors de la combustion 15% de la poudre sont utilisés en énergie de mouvement, 5% en détonation (bruit), et les 80% résiduels en chaleur.

Après un parcours de 30 à 40 cm. dans le canon, la balle atteint sa vitesse maximale et toute la poudre s'est transformée en gaz (pression).

Ces éléments sont donc prépondérants pour la qualité du canon choisi et de l'usage qu'il en sera fait.

Le «tube» en effet se devant être rigoureusement régulier et symétrique. (Ce qui ne sera probablement plus le cas après un choc subi par inadvertance, telle qu'une chute de la table de tir par ex.)

Une attention toute particulière sera réservée à l'introduction, de la cartouche qui doit être parfaitement alignée car si tel n'est pas le cas la balle risque une déformation (même minime) et son axe longitudinal ne sera plus aligné avec celle du canon.

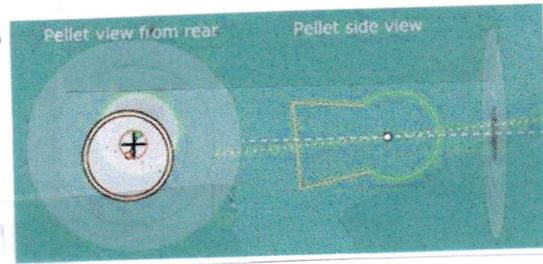
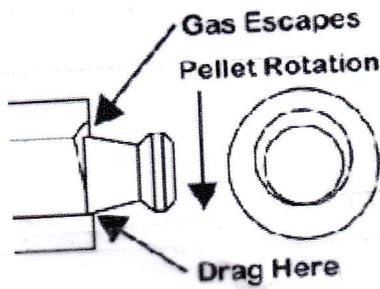
La partie du canon ne contenant pas de rainures affiche un diamètre de 5,5118 mm., tandis qu'à l'endroit des rainures il est de 5,6388 mm. Leur profondeur est donc de 0,0635 mm. seulement.

Au départ du coup, la balle transite dans une courte zone sans rainures, et lorsqu'elle s'engage dans ces dernières elle entame sa rotation tandis qu'une infime partie de sa matière est « raclée » par ces rainures. Par la même occasion elle aligne son axe longitudinal à celui du canon.

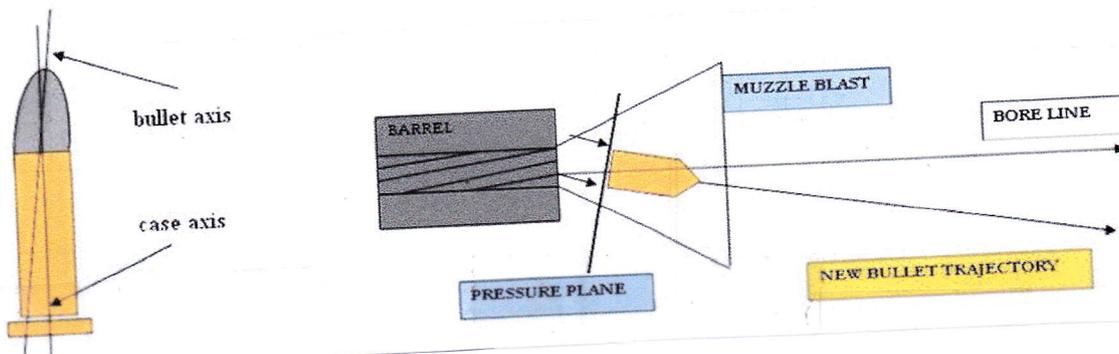
Mais si à sa sortie de la bouche du canon ce dernier présente l'une ou l'autre imperfection, la balle sera déjà déviée.

En effet, si au moment de la sortie sous l'effet de la haute pression agissant sur l'arrière de la balle celle-ci rencontre une aspérité comme suggéré par la figure ci-dessous, la tête de la balle sera déviée sous l'action d'une partie des gaz déjà sortis, tandis que la portion de balle encore présente dans le canon sera retardée par son frottement sur la surface restante du canon.

Chaque déformation, même ultra minime du canon engendre donc un basculement du projectile dès sa sortie.



L'effet sera identique pour une balle abîmée ou déformée.



Ceci est d'ailleurs la raison principale pour laquelle un tireur de précision n'utilisera jamais une balle tombée de sa table sur le sol.

A titre d'exemple, la figure de gauche suivante montre les impacts de 10 cartouches ayant été extraites volontairement du canon, (tombées par terre) réintroduites et puis tirées.

La figure de droite quant à elle montre les impacts des cartouches n'ayant pas subi cette «maltraitance»



e-
se t



Les Lois de la physique déterminent qu'un gaz sous pression forme toujours un angle de 90° par rapport à la surface à laquelle il est confronté.

Si tel n'est pas le cas à sa sortie, le phénomène tel que décrit précédemment (page 9) se représentera.

En effet, au moment de leur sortie, les gaz génèrent encore une pression de 345 à 1.035 bar.

L'importance de la déviation de la balle qui s'en suit étant déterminée par trois facteurs, notamment :

- L'angle de l'arrière de la balle par rapport à la sortie de la bouche
- La pression que les gaz exercent encore sur la balle et la durée de cette dernière.

Via certaines expériences il a été démontré que cet effet se manifeste encore 45 à 50 mm après la sortie des gaz et que pour une inclinaison de 0,025 mm de la balle à sa sortie, la déviation sur la cible atteint 2,54 mm. sur une distance de 50 mètres. (A bons «benchresteurs» Salut... !)

D'autre part, il a été prouvé également que la vitesse des gaz est supérieure à celle de la balle à sa sortie, ce qui à nouveau, est source de perturbations tel que le démontre la figure ci-dessus.

Elles consistent également par l'onde de choc provoquée par les gaz en mouvement rencontrant la masse d'air immobile devant la bouche du canon.

Ceci explique l'utilisation par les tireurs de compétition du «tuner turbo» ou du «blop tube» monté à l'avant de la bouche de leur canon.

Cela en fait des perturbations générant des effets «Bernouilli», «Coriolis», «Magnus», «Précession», «Nutation»...

Et pourtant, ce n'est pas fini !. Il est reste une dernière !

VII. LE VENT

Et oui ... !

Les effets du vent, qu'il soit de face, d'arrière ou latéral induisent eux-aussi, tous les effets décrits précédemment.

Si les tireurs comprennent aisément les trois directions citées ci-dessus, il en reste une moins connue, notamment le vent vertical.

Ce dernier étant généré par les obstacles qu'il rencontre et imputables principalement aux constructions du stand de tir proprement dit. (pare-balles, murs de séparation etc...)

Dans le cas d'un stand très large (par ex 25 à 30 lignes) il ne sera perceptible que près des cibles, le stand ne présentant pas d'obstacles significatifs au niveau de la ligne de tir, près du sol.

Les cibles par contre, ainsi que l'infrastructure qui les porte sont quasiment toujours verticales. Il est donc aisé de comprendre que le vent horizontal venant s'y buter engendrera des mouvements tant latéraux (gauche, droite) que verticaux (haut, bas).

Et comme c'est à cet endroit que la balle atteint sa vitesse la plus faible (+/- 300 m/s à 50 mètres, et 270 m/s à 100 mètres), il est aisé d'en tirer les conclusions.

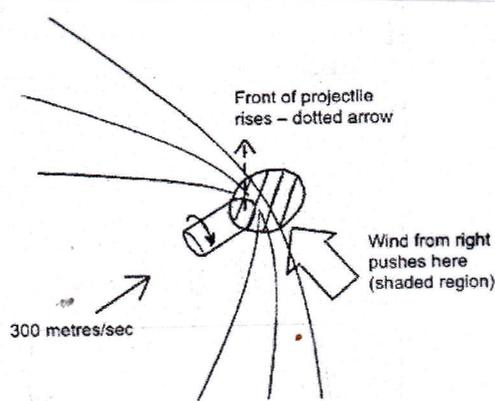
Le vent de face ou d'arrière n'ayant que peu d'influence sur la trajectoire du projectile, le vent latéral par contre est source de perturbations non négligeables.

Chez une majorité de tireurs existe la conception que le vent «pousse» la balle hors de sa trajectoire. Comme dans beaucoup de «on dit», cette réflexion est pourtant erronée.

Il est primordial de comprendre que le vent ne «pousse» pas une balle stabilisée par sa rotation vers une direction donnée mais que sous l'effet de cette stabilité rotative c'est la tête de la balle qui se tourne en direction du vent. L'effet de girouette !

Le projectile quittant le canon à +/- 50.000 tours minute, il comprime devant lui une masse d'air comme déjà avancé précédemment.

Il en résulte que la «prise au vent» se situe à la tête du projectile, DEVANT son centre de gravité.



Lorsque la balle quittant le canon est confrontée à un vent latéral elle réagit tel une flèche, une girouette ou une barque traversant le courant d'une rivière et se tourne donc en direction du vent relatif. Elle «suit» le vent.

Plus grande est la vitesse du vent, plus grand sera l'angle d'inclinaison de la tête de la balle.

La tête de la balle étant confrontée à un vent latéral, elle s'incline également vers le haut ou le bas sous l'action de... l'effet gyroscopique... !

Un vent latéral droit créera une inclinaison vers le haut, l'inverse se produira pour un vent latéral gauche.

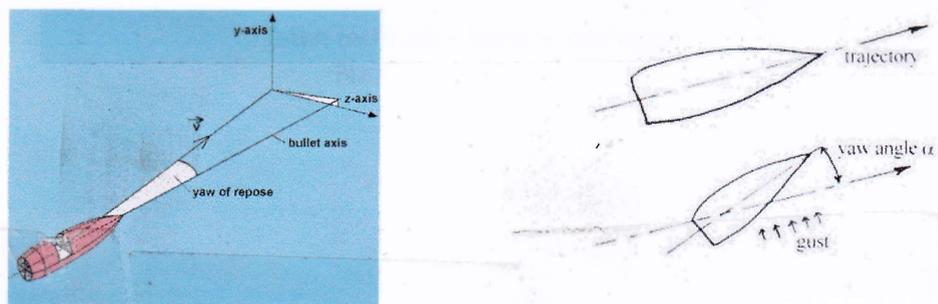
Ceci implique que l'axe longitudinal formera un angle avec la direction initiale, effet qui à son tour génère une résistance aérodynamique perpendiculaire à la direction initiale.

De surcroît, sous l'action de «l'effet Magnus » ou précession, la rotation de la balle génère également une différence de pression sur le dessus et le dessous de celle-ci.

Dans le cas d'un projectile à rotations vers la droite, et un vent de droite, l'effet Magnus génèrera une dépression sur le flanc inférieur de la balle tandis que dans le cas d'un vent de gauche une surpression sera perceptible.

Sous l'effet de la force Magnus, et par vent de droite, cette force sera opposée à la force ayant soulevé la tête de la balle (l'effet gyroscopique) et par conséquent ces forces doivent être soustraites l'une de l'autre.

Dans le cas d'un vent de gauche, l'effet Magnus agit dans le même sens et les deux forces doivent être additionnées.



La figure ci-dessus démontre clairement les effets expliqués.

Rotation gauche de la balle après sa sortie du canon

La flèche indique la direction prévue de la balle

V = vent de gauche

Y = soulèvement tête de la balle

Z = effet gyroscopique du à « Y » (précession, c.a.d réaction 90° après l'application de la force «Y»)

YAW = l'angle du à l'effet de girouette

BULLET AXIS = direction prise par le CG (centre gravité) de la balle.

En conclusion, et cela va de soi, plus longue est la distance à parcourir par le projectile d'une part, et plus grande est la force du vent d'autre part, plus grand sera l'écart de l'impact sur la cible, si aucune correction n'est envisagée par le tireur.

Il est commun de compenser la lunette 1/8 MOA (Munite Of Angle) de 1 clic vers la haut, ou le bas pour chaque 4 clics latéraux.

Et enfin, après avoir maltraité les méninges du lecteur par cette entrée en matière, par cet apéritif, dans le monde complexe de prime abord, mais tout aussi passionnant pour certains de la balistique élémentaire, ci-dessous une dernière démystification.

Cette fois encore, la croyance qu'une balle rapide est moins sujette aux écarts du vent est erronée.

Lors de la conception d'une balle 22LR, les fabricants procèdent à des essais de tir en laboratoire. Afin d'analyser tous les paramètres de celle-ci, et notamment les vitesses, les tirs s'effectuent dans un endroit sous vide (Vaccum).

Les vitesses y enregistrées sont donc différentes de celles obtenues en atmosphère standard extérieure.

C'est ainsi que les «durée de vol» pour parcourir une distance de 100 mètres s'affichent comme suit :

Standard Velocity :	0,262 sec.
High Velocity :	0,225 sec.
Super High Velocity :	0,179 sec.

Vitesses de sortie du canon en atmosphère standard extérieure :

Standard Velocity	330 m/s
High Velocity	345 m/s
Super High Velocity	450 m/s

Ce qui donne les résultats suivants :

	<u>vitesses de sortie atmosphère extérieure</u>	<u>durée pour 100 mètres</u>
Standard Velocity	330 m/s	0,303 sec.
High Velocity	345 m/s	0,289 sec.
Super High Velocity	450 m/s	0,179 sec.

Il suffit donc de soustraire la durée du «vol» en «Vacuum» de celle en atmosphère standard pour connaître la durée d'exposition additionnelle du projectile au vent durant le tir en atmosphère standard.

Le tableau ci-après est démonstratif quoique théorique puisque pratiquement inexploitable en conditions normales de terrain.

Effets sur une distance de 100 mètres, dans un air calme, sans vent mais spécifiant le ralentissement subi par le projectile suite à la résistance rencontrée par la viscosité de l'air

Par vent, ce retard aura donc une influence ainsi qu'une déviation théorique supplémentaire du projectile.

	Atmosphère standard	Vacuum	Freinage viscosité air
Standard Velocity	0,303 sec.	0,262 sec.	0,041 sec.
High Velocity	0,289 sec.	0,225 sec.	0,064 sec.
Super High Velocity	0,222 sec.	0,179 sec.	0,043 sec.

Il n'est cependant pas surprenant de devoir constater qu'une exposition à la viscosité de l'air d'une «Super High» génère un ralentissement supérieur à celui d'une «Standard».

Au niveau de la «High Velocity» le constat est encore plus marquant. (pour les distraits, retour aux pages 3 et 4, cône de mach, trainée de compression...).

Et voilà, ce sera tout pour le moment... !

L'auteur espère avoir guidé le lecteur dans les sombres dédales de la 22 LR, ainsi qu'avoir attisé son appétit pour quelques secrets élémentaires de la balistique.

Il vous remercie de votre attention et vous souhaite un maximum de «10», relevé par un nombre significatif de «mouches».

L.V.H. 26.08.2014