

PETITS CALIBRES ET HAUTES VITESSES - *Science et mythes*

Jean-Jacques Dorrzapf

L'armement du combattant a évolué au cours des temps. C'est notamment vrai pour l'armement individuel. Les contraintes des affrontements ont commandé ces changements qui sont intervenus dès lors que les avancées technologiques les ont permis. Depuis la dernière guerre mondiale, on constate, avec l'apparition des fusils d'assaut, une diminution des calibres corrélativement à l'augmentation des vitesses initiales des projectiles et de la cadence de tir. Concernant l'armement des forces de l'OTAN, le 5,56 mm a détrôné le 7,62 mm. Cependant, ce dernier n'a pas complètement disparu et il semble que sur certains théâtres d'opérations il soit préférable au 5,56 mm qui a pu montrer à l'occasion quelques faiblesses. La firme Heckler und Koch commercialise d'ailleurs un fusil d'assaut chambré en 7,62 x 51 mm, le HK 417.

L'observation des lésions générées par le 5,56 mm, dont les mécanismes physiques étaient vraisemblablement mal compris des observateurs, a été à l'origine de mythes sur les effets dévastateurs de cette munition, l'action d'ondes de choc et autres phénomènes mal définis. A tel point que l'histoire raconte que certains chirurgiens n'opéraient plus les blessés selon les lésions observées mais plutôt selon le calibre qui en était supposé responsable, quelques-uns d'entre eux conseillant même comme protocole opératoire sur la plaie une « excision tissulaire en la pratiquant souvent de façon empirique et plus large que ne l'exigerait normalement le bon sens clinique » (Gill 1978 – Cf. Historique de la B.L. du Dr. E. Voiglio). On serait donc fondé à se poser la question suivante : quel était le chemin qui a conduit aux petits calibres ? Les balisticiens qui l'ont suivi étaient-ils ballotés entre les mythes, les croyances infondées et les effets de mode ou alors ce chemin a-t-il été tracé par les lois rigoureuses de la balistique ?

L'adoption des munitions de petits calibres destinés aux fusils d'assaut n'a pas été immédiate. Elle a été précédée par la seule diminution de la puissance des munitions commandée par les besoins du tir en rafales, puis a été le fruit à la fois d'expérimentations et d'un peu de calculs. Ces quelques calculs et les expérimentations qui ont montré la voie vers les petits calibres sont l'objet de cet article. Nous terminerons en tentant de démythifier le mécanisme lésionnel des petits calibres, tâche difficile aujourd'hui encore.

- *L'évolution des modes de combats entraîne une modification de l'armement*

On peut considérer que l'évolution vers les petits calibres a commencé à partir de la dernière guerre mondiale. L'objet de cet article n'est pas de réécrire une histoire sur l'évolution de l'armement individuel depuis cette époque, mais plutôt d'en établir une explication scientifique, aussi ne donnera-t-on dans un premier temps que quelques justifications très générales de cette évolution.

Contrairement à la guerre de 14-18, celle de 39-45 fut une guerre de mouvement. Dans ce nouveau mode de combat le fantassin était plus exposé au tir direct de l'ennemi. Même si, à l'époque, les états majors n'en étaient peut-être pas encore conscients, l'efficacité des munitions ne serait plus évaluée, comme jusqu'alors, par le nombre de planches de sapin ou d'épaisseur de sable traversées mais par leur potentiel lésionnel.

Cependant, en même temps que le combattant devenait plus vulnérable, sa mobilité le rendait plus difficile à atteindre. Le tir au visé devenait moins adapté. Il était évident que la probabilité d'atteinte était directement liée à la cadence de tir de l'arme et à la capacité de ses chargeurs. On comprit rapidement qu'un fusil, doté d'une munition suffisamment puissante tout en permettant une bonne stabilité lors du tir en rafale, donnerait à son possesseur la supériorité sur son adversaire équipé, lui, d'un fusil tirant une munition certes plus puissante mais au coup par coup. Cette constatation fut confirmée par les études démarrées aux environs des années 50 par les Etats-Unis (Cf. programmes SALVO et suivants) qui démontrèrent que statistiquement un fantassin devait tirer plusieurs milliers de cartouches (on parle d'une moyenne de 10 000 coups) pour une atteinte.

- *Apparition de nouvelles munitions pour de nouvelles armes destinées au fantassin*

L'avantage de doter le combattant d'une arme pouvant tirer en rafale étant établi, restait à résoudre les problèmes liés à sa réalisation et en particulier celui portant sur la stabilité de l'arme lors du tir. Ce dernier point allait être l'axe directeur du développement d'une munition forcément nouvelle. En effet, les premières études avaient démontré l'impossibilité pratique, de par la puissance du recul de l'arme, d'employer les munitions de fusil jusqu'alors utilisées. La munition du nouveau fusil devait occuper le créneau de puissance ayant pour limite basse les pistolets mitrailleurs alors en service et pour limite haute la capacité du tireur à garder son arme en ligne lorsqu'il faisait feu.

On peut considérer que ce furent les allemands qui mirent en service le premier fusil d'assaut sous la dénomination de StG. 44 pour Sturmgewehr modèle 1944 bien que des prototypes équipèrent certaines unités au moins deux ans plus tôt. Cette arme tirait une munition de 7,92 x 33 mm munie d'un projectile de 8,1 g animé d'une vitesse initiale de 700 m/s (énergie cinétique \approx 1990 joules). L'immédiat après guerre voit apparaître le fusil d'assaut soviétique AK 47 tirant une munition de 7,62 x 39 mm munie d'un projectile de 7,97 g animé d'une vitesse de 710 m/s (énergie cinétique \approx 2000 joules). On peut également citer, dans cet environnement temporel, la carabine US M2 carabine, pouvant tirer en rafale, dotée d'une munition de 7,62 x 33 mm munie d'un projectile de 7,25 g animé d'une vitesse initiale de 580 m/s (énergie cinétique \approx 1220 joules).

Ce petit historique amène deux constats importants. Le premier, en accord avec l'intuition, met en évidence la nécessité de tirer avec les fusils d'assaut des munitions de puissance moindre que celles utilisées dans les fusils classiques, ceci dans le but de limiter le recul et donc l'instabilité de l'arme lors du tir en rafale. Le second constat est plus intéressant car il démontre que la diminution de la puissance des munitions n'entraîne nullement, à cette époque, celle du calibre du projectile. Ce dernier est conservé. On ressent de la part des spécialistes une sorte de réticence vis à vis de calibres plus petits, comme si la réduction du diamètre du projectile allait entraîner une perte corrélative d'efficacité lésionnelle de la munition. Il faudra attendre quelques années et des recherches approfondies en balistique lésionnelle pour envisager la possibilité d'utiliser des projectiles de calibres plus petits dès lors qu'ils sont animés d'une vitesse suffisante. A la suite de la mise en service de ces nouvelles munitions, un certain nombre de mythes naîtront, tel celui de leur effet dévastateur attribué à une onde de choc dont l'existence apparaît physiquement bien mystérieuse. Ces croyances sont dues en général à une méconnaissance ou une mauvaise interprétation des lois physiques présidant l'interaction projectile/tissus vivants.

Nous allons suivre quelques développements techniques qui nous permettront de comprendre les raisons de l'adoption des projectiles de petits calibres qui vise finalement deux buts : minimiser le recul de l'arme et maintenir une bonne efficacité de la munition.

- *Les expérimentations en balistique lésionnelle ouvrent la voie vers les petits calibres*

L'évolution vers les petits calibres n'aurait pas pu se faire sans une bonne compréhension des mécanismes lésionnels intervenant lors de l'interaction projectile/tissus-vivants. Ces mécanismes sont mis en évidence lors d'expérimentations en balistique lésionnelle. Globalement, il a été constaté que le projectile qui traverse des tissus vivants les repousse violemment au moment de son passage créant ainsi une cavité temporaire tout autour du trajet projectiltaire. Les tissus se trouvant sur ce trajet sont détruits certes, mais il apparaît finalement que l'efficacité du projectile est directement lié au volume de la cavité temporaire. La correspondance entre l'efficacité du projectile et le volume de la cavité temporaire est donc le premier point à prendre en compte. Les observations réalisées lors des expérimentations ont permis également de mettre en évidence un second point, à savoir que le volume de la cavité temporaire est proportionnel à l'énergie cinétique du projectile au moment de l'impact. La relation suivante est donc établie :

Énergie cinétique → volume de la Cavité temporaire → Potentiel lésionnel (1)

Il est cependant nécessaire d'accompagner cette relation de quelques précisions. La relation (1) crée un lien direct entre le potentiel lésionnel d'un projectile et son énergie cinétique au moment de l'impact. Seul les phénomènes scientifiquement démontrés sont pris en compte dans le but de la mise hors de combat d'un individu. Il n'est pas fait allusion au "pouvoir d'arrêt" ou "stopping power", à l'effet de "sidération par action sur le système nerveux vagal" ou à d'autres phénomènes qu'il n'a jamais été réellement possible de modéliser et dont la constatation est pour le moins irrégulière et sujette à diverses interprétations (Cf. article de Serge Lopez dans la même rubrique). L'incertitude et les suppositions ne sont pas admises quand on développe une munition destinée à neutraliser ou mettre hors de combat un adversaire.

Finalement, toute l'évolution vers les petits calibres est partie de cette relation (1) et le fait que l'énergie cinétique d'un projectile dépende du couple (vitesse , masse) de ce dernier laissait une immense marge de manœuvre aux concepteurs de munitions militaires. Mathématiquement, on a, pour une énergie cinétique donnée, une infinité de couples (vitesse , masse) du projectile. En réalité, le choix est bien plus restreint compte tenu des contraintes pratiques de la balistique, mais la possibilité de pouvoir jouer sur ces deux paramètres a été une avancée fondamentale dans le domaine de l'efficacité des projectiles. Il restait à chercher une solution à la question suivante : pour une énergie cinétique donnée du projectile est-il possible de minimiser le recul de l'arme ? Posée sous forme mathématique, la question était : pour une énergie cinétique donnée, la fonction représentant le recul de l'arme en fonction de la vitesse initiale du projectile a-t-elle un minimum ? Si oui, pour quelle vitesse ? Si cette vitesse existe et après l'avoir déterminée, il ne restait plus qu'à déduire la masse du projectile en utilisant la loi définissant le couple (vitesse , masse) du projectile.

On présentera ci-dessous une méthode permettant modéliser le phénomène de recul avec une bonne approximation. On montrera une possibilité de minimiser ce phénomène pour une énergie cinétique imposée. Quelques simplifications sont apportées, classiques dans les laboratoires de balistiques. Néanmoins nous déterminerons avec une très bonne approximation le couple (vitesse , masse) idéal du projectile permettant d'avoir un recul de l'arme minimal pour une énergie cinétique donnée.

- *Un peu de calcul... et de pratique*

Nous allons effectuer quelques calculs simples. Ils sont détaillés afin que le lecteur intéressé puisse les suivre. Nous définirons, dans un premier temps, une relation permettant de déterminer avec une bonne approximation le recul d'une arme. Puis nous définirons une expression nous donnant l'intensité du recul d'une arme en fonction de la vitesse initiale du projectile. Cette expression nous permettra de calculer le minimum de recul pour une énergie cinétique du projectile donnée. Il s'agira d'un résultat mathématique qu'il faudra confronter aux réalités physiques de la balistique et ajuster en fonction de ces dernières. Finalement, quelques applications numériques nous montreront que la recherche vers les petits calibres, y compris les fléchettes était parfaitement justifiée.

I – Réaction de recul

Soient les paramètres suivants :

- V_0 : vitesse initiale du projectile ;
- m_p : masse du projectile ;
- E_c : énergie cinétique du projectile ;
- m_{pd} : la masse de poudre ;
- v_0 : vitesse initiale de recul de la masse reculante (arme) ;
- M : la masse reculante (arme).

A l'instant où le projectile va sortir du tube, la loi de conservation de la quantité de mouvement permet d'écrire :

$$(m_p \times V_0) + (m_{pd} \times \frac{V_0}{2}) = M \times v_0 \quad (2)$$

Nota sur les paramètres de recul :

1) **Sur la vitesse des gaz :** la vitesse des gaz est considérée avec une bonne approximation comme étant, en moyenne, la moitié de celle du projectile au moment où ce dernier va quitter le tube. Cependant, sur les armes avec chambre (armes d'épaule) cette vitesse est légèrement inférieure à la moitié de celle du projectile. En effet, la chambre étant d'un diamètre supérieur à celui du tube, le pourcentage de gaz étant encore en chambre est supérieur à celui se déplaçant derrière le projectile ;

2) **Sur les phénomènes responsables du recul :** Les anglo-saxons (américains) ajoutent au premier membre de l'équation (2), un terme correctif G représentatif de l'impulsion résultant de l'échappement des gaz par la bouche de l'arme, créant un petit effet supplémentaire de soufflage et induisant une augmentation du recul de l'arme. Cependant, la formule (2) donne une excellente approximation.

II – Expression du recul d’une arme pour une énergie cinétique du projectile donnée

L’expression du recul de l’arme pour une énergie cinétique du projectile peut nous permettre, en jouant sur le couple masse/vitesse du projectile, de tenter de minimiser l’importance du recul pour une énergie cinétique fixée.

La masse de poudre intervenant dans l’expression (2) du recul de l’arme, nous allons considérer, en première approximation, que l’énergie cinétique du projectile est proportionnel à la masse de poudre :

$$E_c = k \times m_{pd} \quad (3)$$

L’énergie cinétique initiale du projectile est donnée par la relation :

$$E_c = \frac{1}{2} m_p V_0^2 \quad (4)$$

En introduisant l’énergie cinétique du projectile E_c dans l’expression de la quantité de mouvement de l’arme Mv_0 (2), nous obtenons :

$$M \times v_0 = 2 \frac{E_c}{V_0} + \frac{E_c V_0}{2k}$$

soit

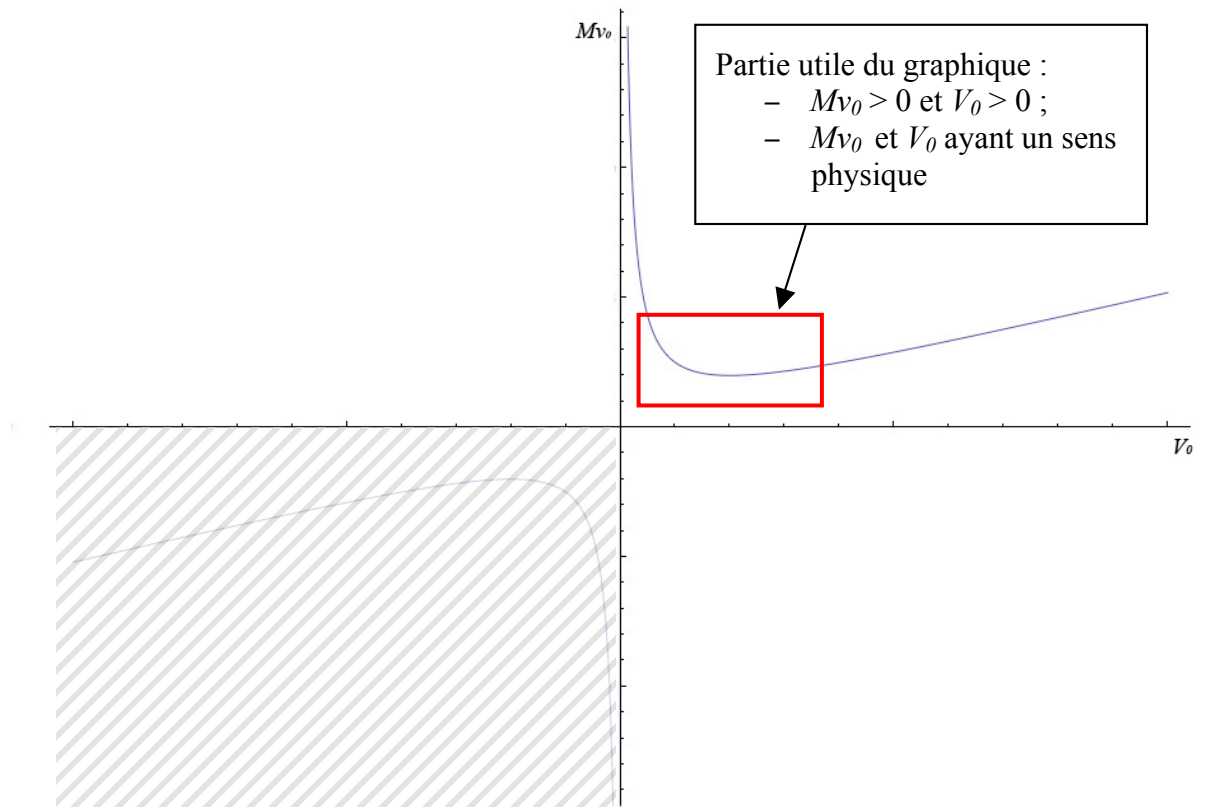
$$M \times v_0 = E_c \left(\frac{2}{V_0} + \frac{V_0}{2k} \right) \quad (5)$$

en ayant remarqué que :

$$E_c \times \frac{m_p \times V_0}{\frac{1}{2} m_p V_0^2} = E_c \times \frac{2}{V_0} \quad \text{et} \quad E_c \times \frac{m_{pd} \times \frac{V_0}{2}}{k \times m_{pd}} = E_c \times \frac{V_0}{2k}$$

L’expression (5) nous donne la valeur de la quantité de mouvement dont sera animée l’arme selon l’énergie cinétique du projectile.

Pour une énergie cinétique donnée, Mv_0 variera en fonction de la vitesse initiale du projectile. Nous devons donc chercher une valeur de V_0 pour laquelle nous aurons un minimum pour l'expression (5) dont la représentation graphique figure ci-dessous. Ce graphique est une représentation mathématique de l'expression (5). Nous devons nous intéresser à la partie de la courbe ayant, pour nous, un sens physique, balistique. On réduira donc, pour ce qui nous intéresse, l'étude de cette courbe à la partie encadrée par le rectangle rouge.



Pour une énergie cinétique donnée, la quantité de mouvement liée à la masse reculante sera minimale lorsque la dérivée de l'expression (4) sera égale à zéro. Soit :

$$\frac{d}{dV_0} \left(\frac{2}{V_0} + \frac{V_0}{2k} \right) = 0 \quad \text{soit} \quad \frac{2}{V_0} = \frac{V_0}{2k} \quad \text{d'où} \quad V_0 = 2\sqrt{k}$$

III – Applications numériques

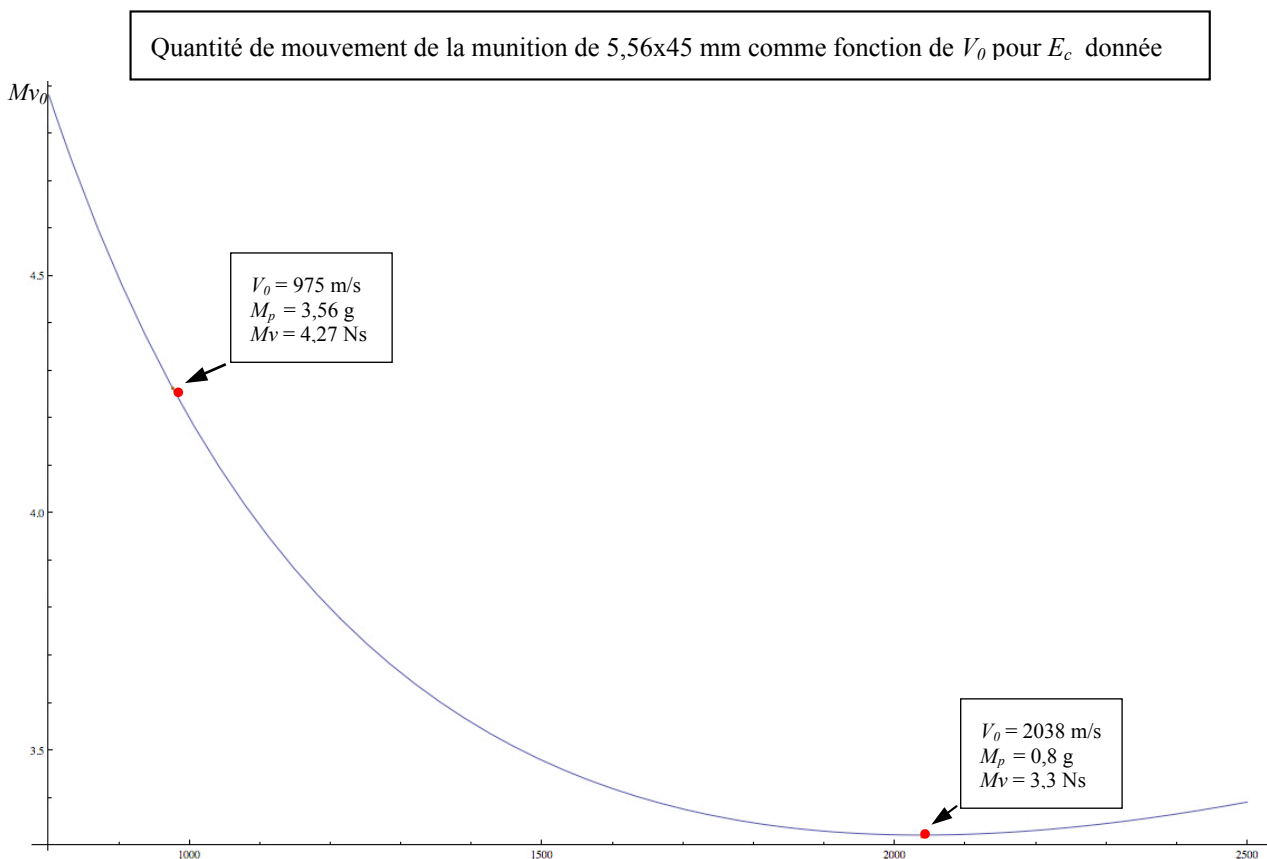
III. I - La munition de 5,56 x 45 mm (.223 Remington)

Les données :

- $m_p = 3,56$ g ;
- $m_{pd} = 1,63$ g ;
- $V_0 = 975$ m/s ;

On trouve $E_c = 1692$ J, soit $V_0 = 2038$ m/s, $m_p = 0,8$ g et $Mv_0 = 3,3$ Ns pour un recul minimum.

La quantité de mouvement générée par la munition de 5,56 x 45 mm est de 4,27 Ns, soit supérieure de 31% à celle générée par la munition " idéale " .



Ces valeurs idéales données par le calcul sont à prendre avec réalisme et, bien souvent, il faudra composer avec les possibilités techniques qui nous imposeront de rechercher le projectile idéal dans le voisinage du minimum de la fonction. Il faudra, en effet résoudre quelques problèmes techniques :

- *Les problèmes techniques :*

V_0

- Existence d'une poudre capable de propulser un projectile à la vitesse calculée ;
- Usure de tubes, etc...

Nous avons cependant une bonne justification du programme américain SALVO et de ses recherches sur les munitions à fléchettes.

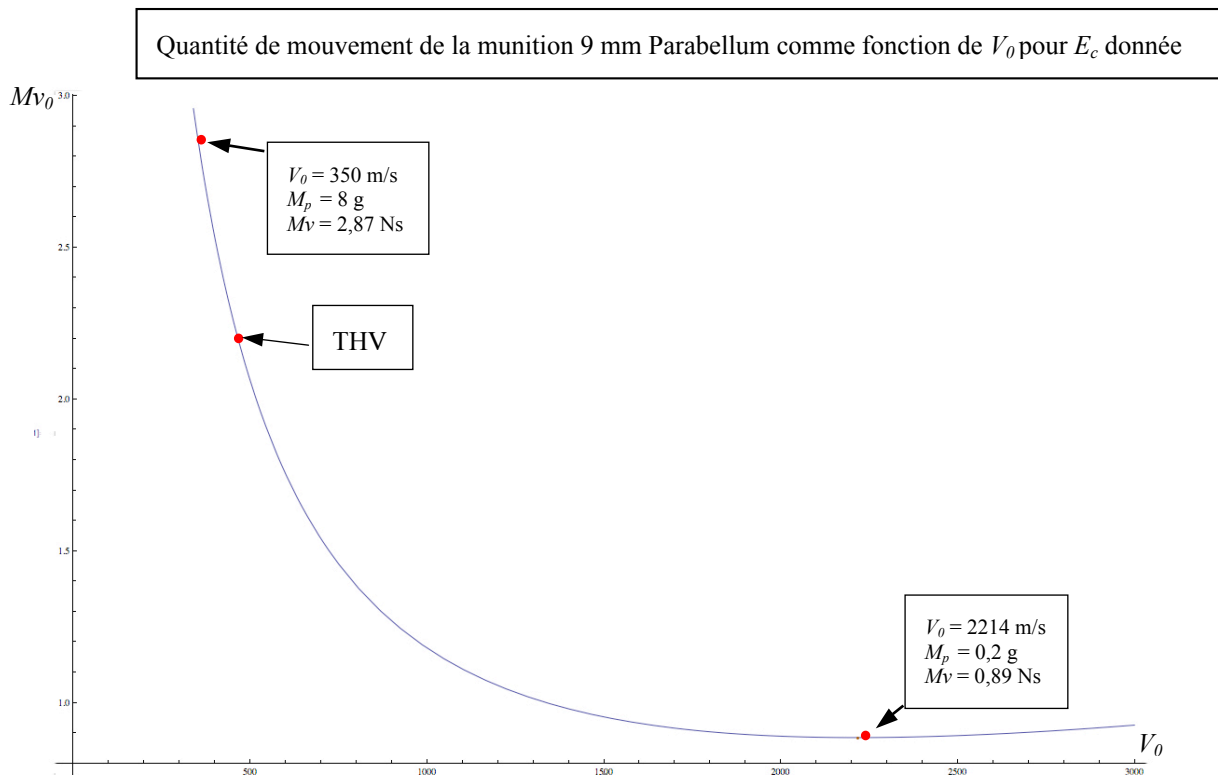
III. II - La munition de 9 mm Parabellum

Les données :

- $m_p = 8 \text{ g}$;
- $m_{pd} = 0,4 \text{ g}$;
- $V_0 = 350 \text{ m/s}$;

On trouve $E_c = 490 \text{ J}$, soit $V_0 = 2214 \text{ m/s}$, $m_p = 0,2 \text{ g}$ et $Mv_0 = 0,89 \text{ Ns}$ pour un recul minimum.

La quantité de mouvement de la munition de 9 mm Parabellum est de 2,87 Ns, soit supérieure de 220% à celle générée par la munition "idéale".



- *Les problèmes techniques :*

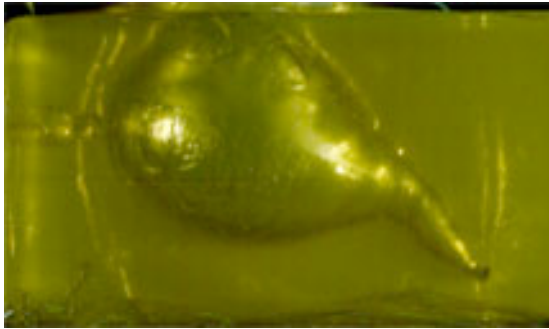
Les mêmes que ceux décrits pour la munition précédente. Cependant, l'invention de la munition THV (Très Haute Vitesse) ($m_p = 2,9$ g, $V_0 \approx 700$ m/s, $m_{pd} = 0,44$ g, $E_c = 711$ J) se trouve justifiée par le calcul.

• *Destruction des mythes*

On pourrait, pour finir, tenter de comprendre les raisons de la naissance des mythes qui ont entouré l'utilisation de ces petits calibres. La première raison est vraisemblablement liée à la méconnaissance des lois élémentaires de la mécanique qui régissent l'interaction projectile/tissus-vivants. Psychologiquement, un certain niveau de lésion peut être accepté pour un projectile de taille et de masse que l'on considère, intuitivement, comme capable de générer ce type de blessure. Par contre ce même type de blessure provoquée par un projectile de 3,5 g (pour la balle de 5,56 mm balle ordinaire), donc bien plus petit que ceux auxquels on est habitué, laisse perplexe. On cherche une autre raison que la simple interaction mécanique et notamment le fait que ce petit projectile, de par sa plus faible masse, subira un freinage plus important et diffusera ainsi mieux son énergie cinétique. Cette raison est toute trouvée : leur grande vitesse supersonique. Au lieu de penser que cette augmentation de vitesse ne sert finalement qu'à compenser la diminution de masse (même si la distribution d'énergie peut être différente selon la vitesse d'impact), on va imaginer l'œuvre d'une onde de choc dévastatrice.

Au sujet de cette onde de choc, il est bon de rappeler une des principales lois qui régissent ce phénomène : pour qu'il existe une onde de choc, le choc doit toujours être supersonique par rapport au milieu qu'il rencontre. Notre projectile ne peut donc générer une onde de choc dans le milieu dans lequel il se déplace que si sa vitesse est supérieure à celle du son dans ce même milieu. Une balle de 5,56 mm dont la vitesse initiale moyenne est de l'ordre de 950 m/s (tout dépend de la longueur du canon de l'arme) est supersonique dans l'air (vitesse du son ≈ 340 m/s). Elle génère donc une onde de choc dans l'air. Qu'en est-il des tissus biologiques composés majoritairement d'eau : vitesse du son dans l'eau ≈ 1480 m/s ; vitesse moyenne dans les tissus mous : 1540 m/s. Un projectile de 5,56 mm n'est pas supersonique dans les tissus organiques, donc pas d'onde de choc.

Un autre phénomène a pu être à l'origine d'un mythe : l'effet explosif. Il est dû à la constatation de la fragmentation de la balle militaire ordinaire (noyau plomb et chemisage en laiton) à courte distance. En effet, ce projectile tiré à une distance de 10 mètres sur un bloc de gélatine à 10 % et 4° C (bonne représentation mécanique du tissu musculaire au repos) fragmente systématiquement alors que le projectile russe de 5,45 x 39 mm, par exemple, ressort sans déformation (Cf. photos ci-dessous). Cette fragmentation, considérée à l'origine à tort comme une explosion par certains observateurs, n'est dû qu'à la réaction du matériau impacté sur le projectile lui-même (3^{ème} loi de la dynamique). Analysée en imagerie haute vitesse, cette fragmentation intervient au moment du maximum du freinage du projectile lors de sa bascule lorsque son axe longitudinal est perpendiculaire à sa trajectoire. Le chemisage en laiton ne résiste pas aux contraintes mécaniques qui lui sont imposées.



Tir d'un projectile de 5,56 x 45 mm dans de la gélatine à 10 %. Distance de tir 10 m. Le projectile est déformé et fragmenté.



Tir d'un projectile de 5,45 x 39 mm dans de la gélatine à 10 %. Distance de tir 10 m. Le projectile ressort intact après bascule.

IV – Conclusion

Les projectiles de petits calibres sont la conséquence de l'évolution des besoins des fantassins confrontés à de nouveaux types d'engagements. Ils sont le fruit de la recherche expérimentale associée à des développements théoriques. Ces derniers montrent que pour une énergie cinétique imposée, l'augmentation de la vitesse et la diminution corrélative de la masse tend à minimiser le recul d'une arme. Si la théorie montre la voie à suivre pour améliorer l'ergonomie des fusils d'assaut en même temps que leur efficacité, les contraintes techniques en définissent les limites.

Le potentiel lésionnel des petits projectiles, qui à l'origine a pu surprendre les observateurs, répond aux strictes lois de la mécanique, fondement même de la balistique et donc de la balistique lésionnelle. Les explications fantaisistes ont fait les choux gras des fabricants.

Loin d'un effet de mode, la course aux petits calibres est donc parfaitement justifiée. Elle n'est d'ailleurs pas terminée car de nombreux laboratoires travaillent sur des projectiles plus petits encore que ceux tirés par les fusils d'assaut actuels. Cependant, revers de la médaille, les performances balistiques de ces projectiles sont entachées de certaines faiblesses : leur faible poids les rendent plus sensibles aux conditions météorologiques, leurs trajectoires sont plus facilement déviées, notamment lors de traversée d'écrans, même légers, et leurs portées efficaces sont moindres. En armement comme ailleurs, rien n'est parfait.