

Balles en vol: la balistique extérieure pratique

La science expliquée simplement
aux tireurs qui ont envie de comprendre

Module 2: chute et élévation

Premier slide

[Toujours le même.]

La théorie

$$D = \frac{g \times t^2}{2}$$

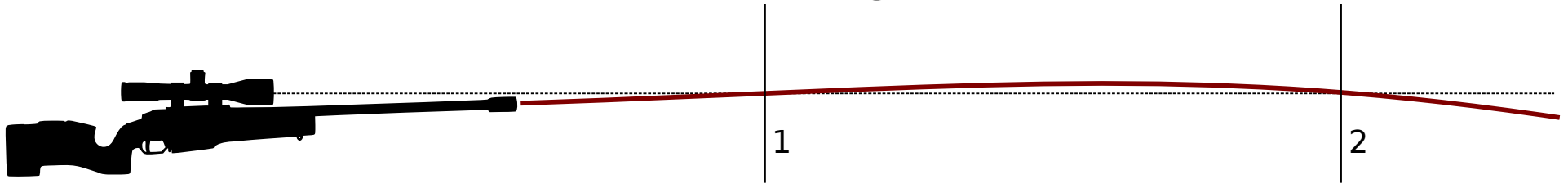
- D = distance de chute verticale sous l'influence de la force de pesanteur g .
- La résistance de l'air verticale est négligeable (contrairement à l'horizontale)
- La distance de chute dépend uniquement du temps de vol t , et de rien d'autre.
- Cette formule apparaît ici essentiellement pour embrouiller l'audience. Il est totalement superflu de la connaître pour tirer et toucher la cible.

Dites bonjour au Capitaine Evidence



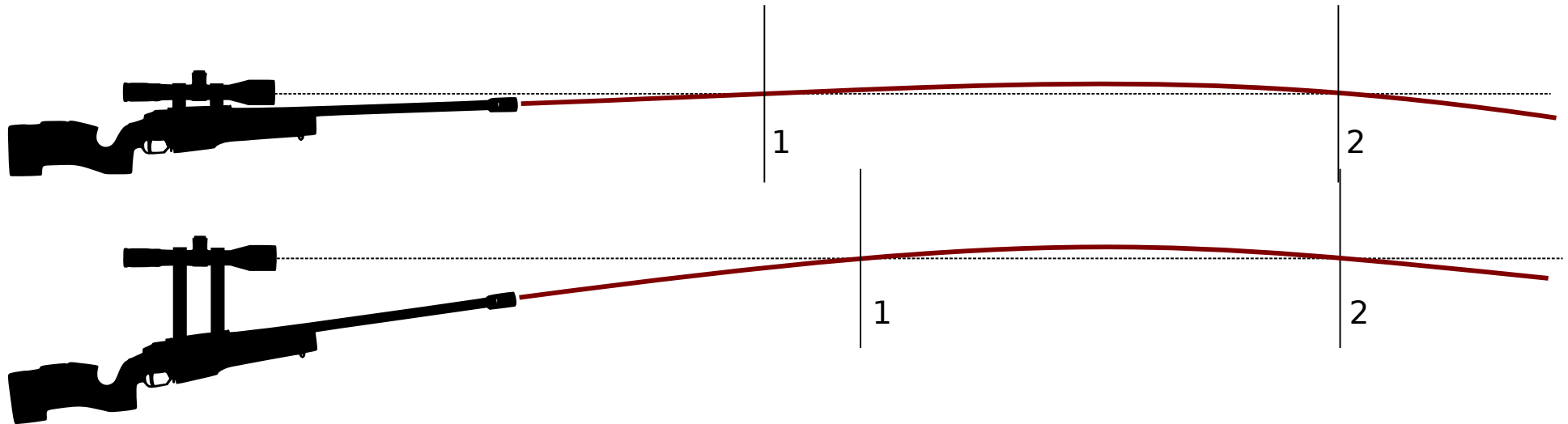
Si l'axe de visée est parallèle à l'axe du canon, la balle ne va jamais toucher la cible.

En vrai



- Pour que la balle touche ce qu'on vise, il faut que la trajectoire intersecte la ligne de visée à la bonne distance (où se trouve la cible).
- Il faut donc un angle entre la ligne de visée et la ligne du canon.
- L'angle est généralement très petit; les dessins l'exagèrent pour illustration (pour un K31 à 1km de distance l'angle d'élévation réel est $< 1^\circ$).
- Les points où la trajectoire de la balle se retrouve à la hauteur de la ligne de visée s'appellent les zéros.
- Il y en a généralement deux – un proche et un lointain.
- On peut choisir une élévation spécifique pour une arme+cartouche+visée données pour que la trajectoire à son sommet "touche" tout juste la ligne de visée; on aurait alors qu'un seul zéro. En pratique ça ne sert à pas grand-chose.
- Quand on "zéro" la lunette, on ramène l'angle d'élévation initiale à une valeur connue pour une distance connue.
- Les tables et les abaques balistiques contiennent les différences (par rapport à l'angle de zérotage initial) d'élévation à introduire dans le système de visée pour ramener le point d'intersection visée-trajectoire à la distance voulue.

La lunette de Mme Girafe



- Quand on lève l'axe de visée par rapport à l'axe du canon, les zéros bougent. Avec le même deuxième zéro, le premier zéro se retrouve plus loin.
- L'angle initial de zéroage est plus grand; il y a donc moins à compenser à des distances plus grandes, et les tables/abaques balistiques ne sont pas les mêmes.

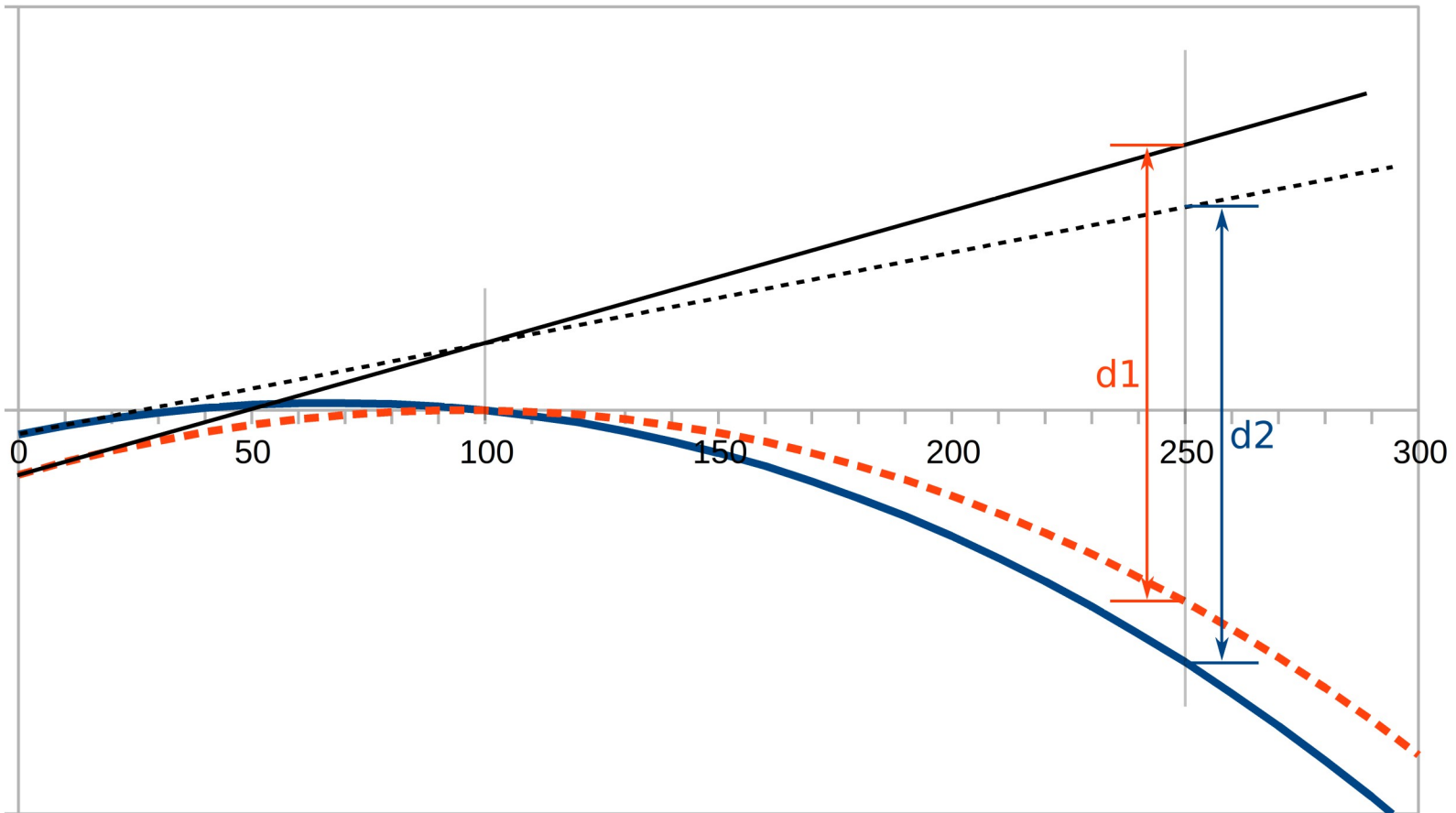


Zérotage à courte distance

2.1: Est très brouillon, parce qu'il est difficile de déterminer le point d'impact avec une précision suffisante (p.ex. 0.1 mrad à $25 \text{ m} = 2.5 \text{ mm}$)

2.2: Le zéro proche est extrêmement sensible à la hauteur de l'axe de visée. (p.ex. 2 cm de différence de hauteur de visée, à $25 \text{ m} = 0.8 \text{ mrad} = 8 \text{ clics}$)

Changement de trajectoire avec un changement de hauteur de visée



Corrections au tables balistiques

- **$dH(D) = dh \cdot (D - D_0) / D_0$**

$dH(D)$ – correction à la table balistique

D – distance

dh – différence de hauteur de visée (positive quand la nouvelle visée est plus haute, et négative quand plus basse)

D_0 – distance de zéroage

- Avec, par exemple, $dh = +1$ cm, $D_0 = 100$ m, on obtient:

- * à 200 m le point d'impact sera $1 \cdot (200 - 100) / 100 = 1$ cm plus haut (par rapport aux anciennes tables balistiques)

- * à 500 m, c'est $1 \cdot (500 - 100) / 100 = 4$ cm plus haut

- * à 1000 m, c'est 9 cm plus haut, etc.



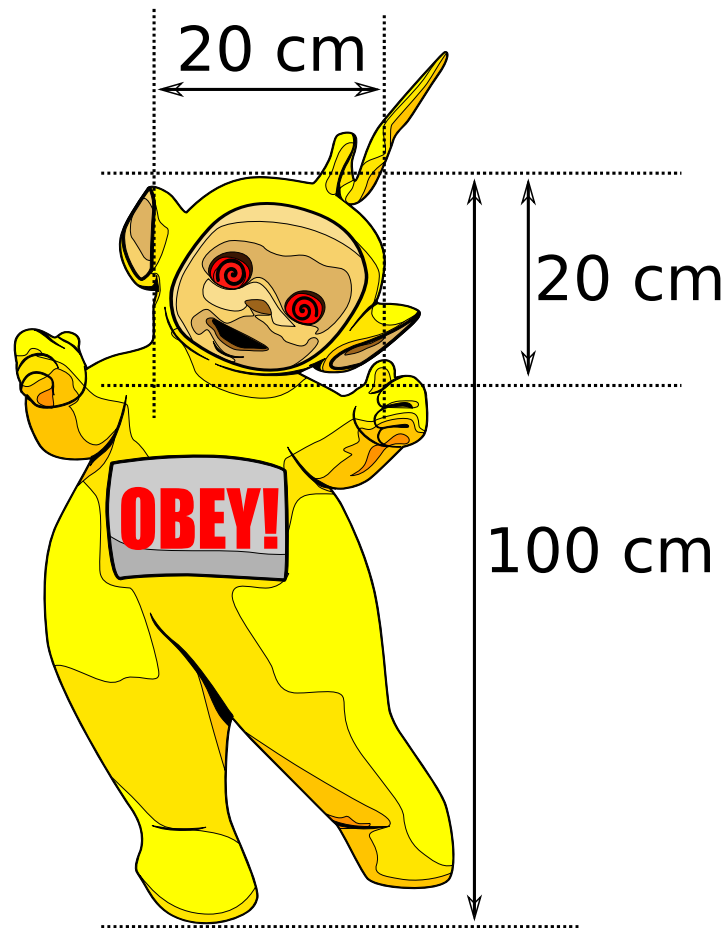
Changement de hauteur de visée

2.3: Les corrections à apporter aux tables balistiques ne dépendent pas du calibre, du BC, ou de vitesse. Ça dépend uniquement de la hauteur de l'axe de visée.

2.4: Avec un zéroage à 100 m ou plus, il est largement suffisant de mesurer la hauteur de visée à ± 2 mm. L'erreur possible est, au pire, de quelques dixièmes de click.

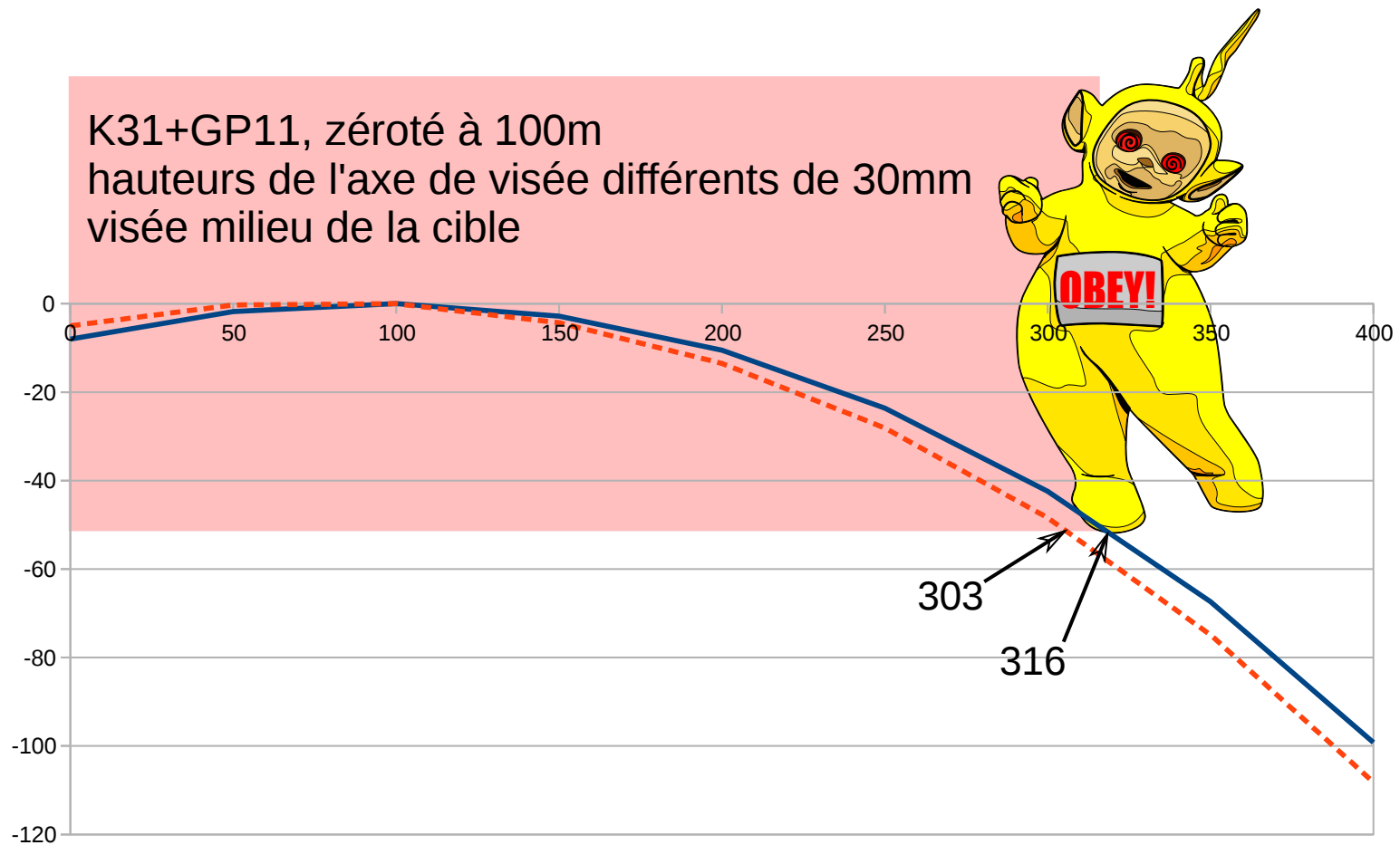
2.5: Généralement – plus loin on zéro, moins la hauteur de visée a d'influence sur les valeurs de tables balistiques.

Dites bonjour au Téléubbie Infernal



(certains reconnaîtront les dimensions de la cible de campagne "F", "silhouette à genou")

Distance de tir direct



Distance où la trajectoire ne sort pas du gabarit vertical de la cible

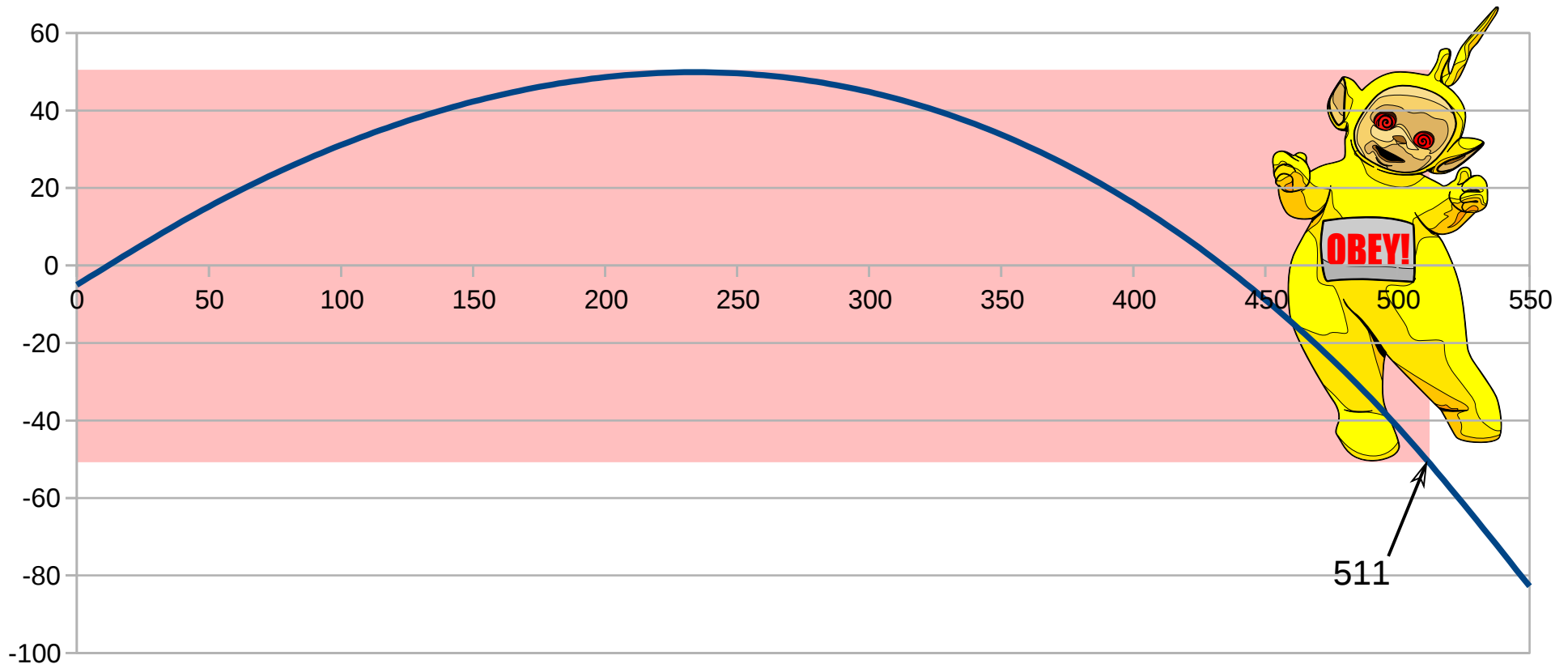
La distance de tir direct

- Essentiellement déterminée par la balistique du projectile
- La hauteur de visée (3 cm (!) de différence dans l'exemple précédant) ne joue qu'un rôle relativement mineur

Tir direct: outils

- La calculette balistique JBM:
<http://www.jbmballistics.com/cgi-bin/jbmtraj-5.1.cgi>
- Inconvénients:
 - unités de mesures perverses (à chaque fois il faut passer en métrique)
 - ne comprend pas d'autres langues que l'anglais
- Avantages: flexible, rapide et précis
- "target height" = hauteur de la cible, utilisée pour calculer les zones dangereuses
- "vital zone radius" = rayon de la zone mortelle, utilisé pour calculer la distance maximale de tir direct
- (mais – avec un minimum d'effort – on peut très bien obtenir les mêmes résultats avec n'importe quelle calculette balistique qui sait donner des tables d'élévation pour chaque mètre de distance)

Distance maximale de tir direct

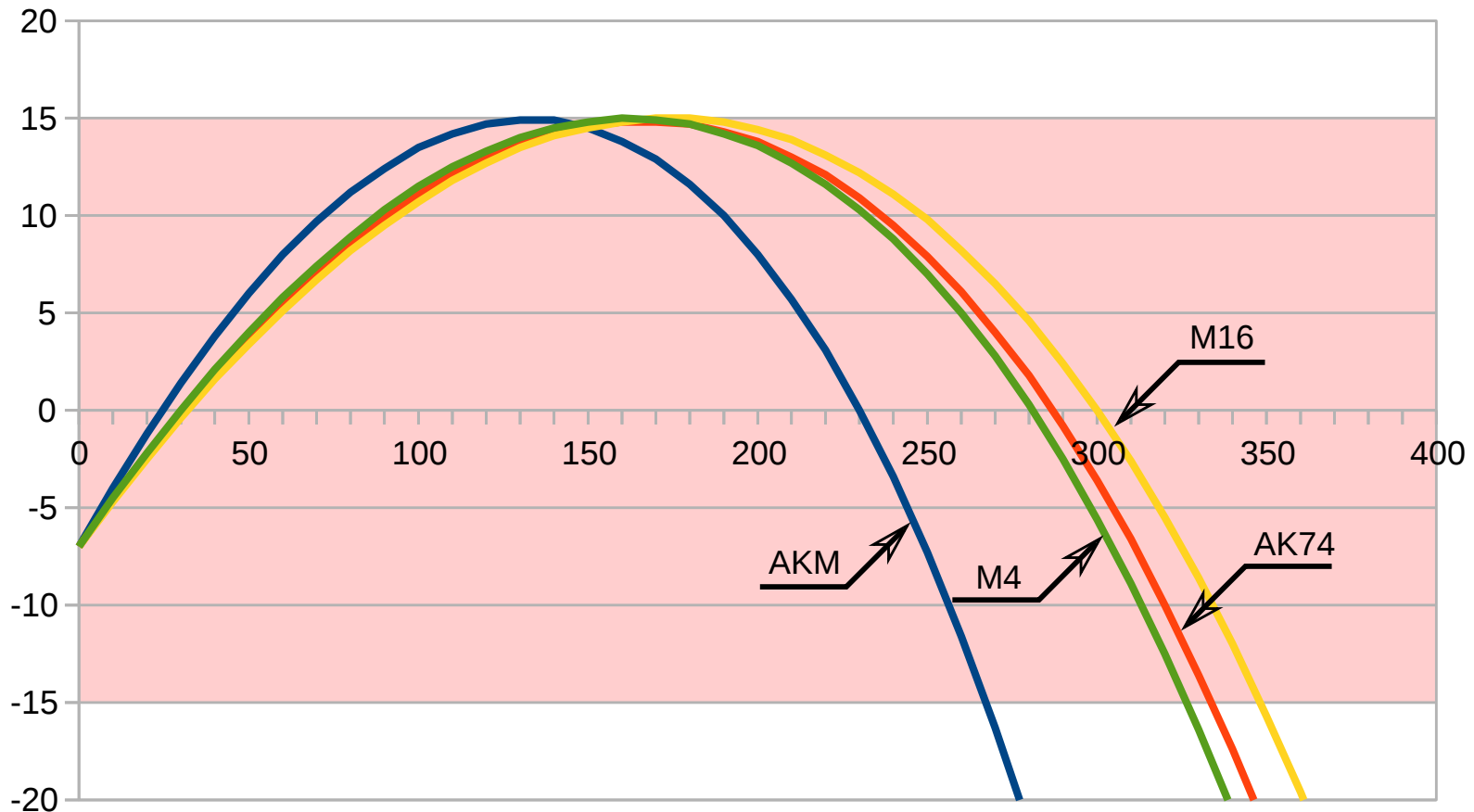


Élévation choisie de telle manière à que la trajectoire reste dans le gabarit vertical de la cible aussi loin que possible (le sommet de la trajectoire est le sommet du gabarit de la cible).

La DMTD

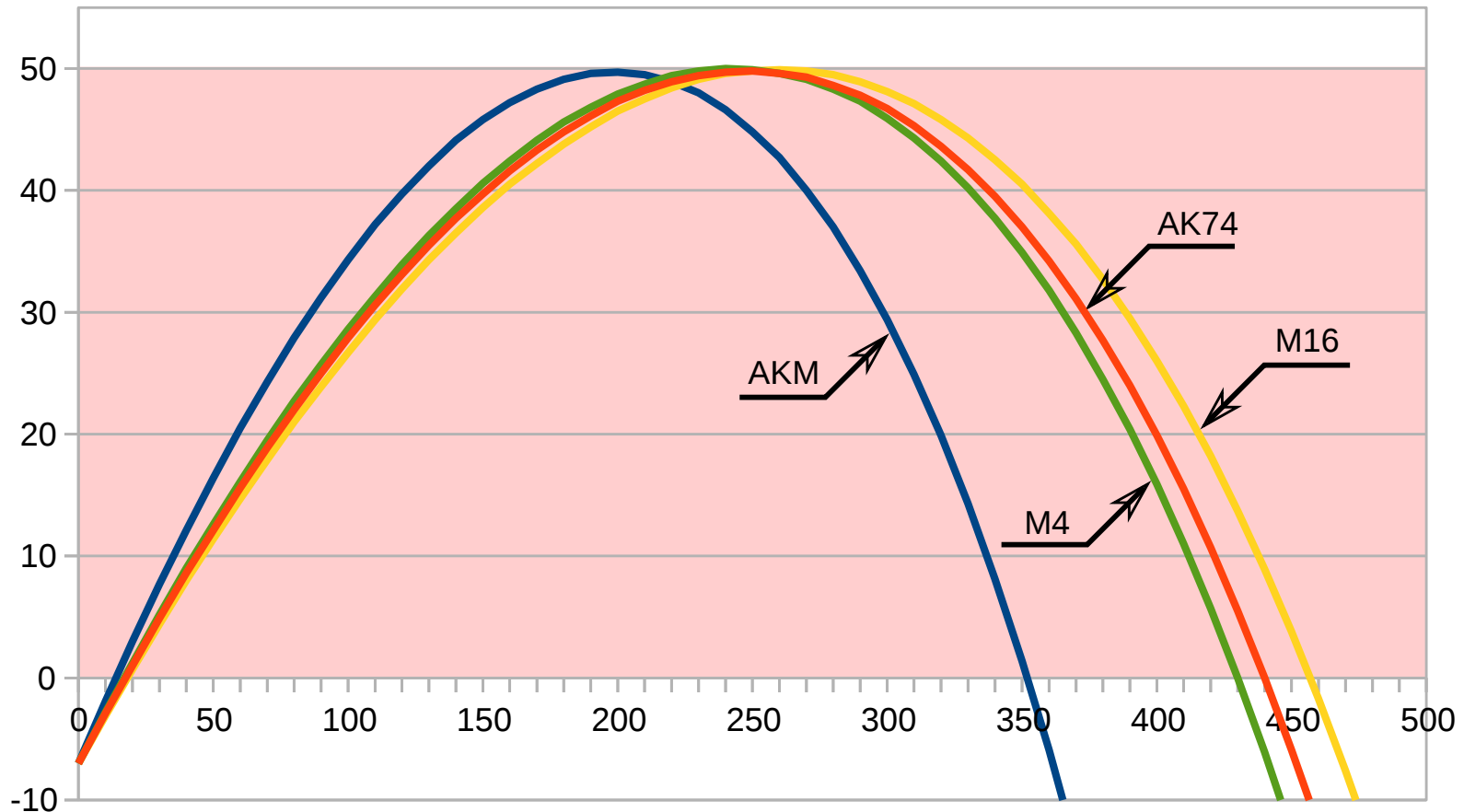
- Dépend, bien évidemment, de la taille de la cible
- Cibles différentes dans les armées et époques différentes, attention à la comparaison
- Généralement la cible "standard" militaire fait entre 40 et 60 cm de haut
- Principe du "zéro de combat" depuis le 19ème siècle (quand on n'a pas la possibilité de tenir compte de la distance)

La question éternelle (version "stars-and-stripes")



"US Army Field Manual TM 9-1005-319-10, M16A2 / M4A1"
Visée "centre masse", taille de zone mortelle: 30 cm (± 15 cm)
Zéro de combat pour M16/M4: 300m.

La question éternelle (version "marteau-faucille")



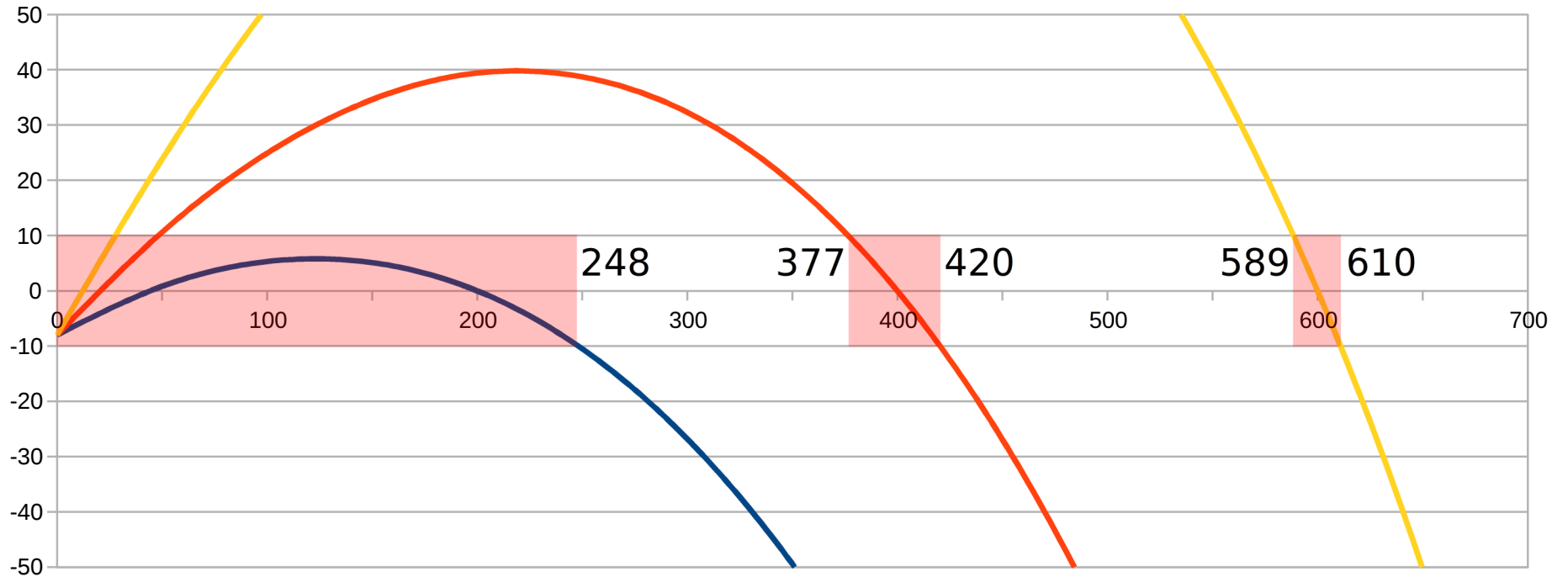
Manuel de l'armée soviétique "Руководство по 5,45-мм автомату Калашникова АК74". Visée "boucle de ceinture", cible "torse": 50 cm. Zéro de combat, position "П" de la visée (~350m pour AKM et ~440m pour AK74).

Qui part à la chasse donne un exemple

- Pour arrêter un teletubbie infernal, il faut toucher la tête
- Exemple: SVD en 7.62x54R, hauteur de visée 8cm, Barnaul FMJBT 174 gr, BC G1 = 0.530 [*]
- Cible = cercle, diamètre = 20cm
- La calculette balistique nous dit DMTD = 278m, avec un zéro à 238m (pas besoin de mesurer cette distance et d'aller y mettre la cible, on zérote où on peut, et on clique la différence)
- En comparaison, avec un zéro à 100m la DTD = 197m; au prix de 8 clicks on s'achète 81m d'insouciance en plus

[*] ah bon?

DTD = cas particulier de zone dangereuse



Zone dangereuse par l'exemple en toutes lettres

- (Toujours SVD en 7.62x54R)
- 200m: coup direct
- 400m: trajectoire plus courbe, la ZD se rétrécit à $420-377=43$ m
- 600m: sévère, la ZD = $610-589=21$ m
- Si à 400m le télémètre choppe un buisson 15m devant, ce n'est pas grave, la balle trouvera l'ennemi.
- A 600m, avec la même erreur, le vilain aura juste la trouille (et reviendra pour se venger)
- A 1000m le diapason d'erreur maximale de distance est seulement de ± 4 m (bon, ce n'est pas la plus grande difficulté pour toucher un cercle de 20 cm à 1000m avec un SVD)



Un pdi!

2.6: Plus grande est la distance de tir, plus précisément il faut la connaître pour toucher.

Trajectoire tendue

- Avant les télémètres laser, estimer la distance = art ésotérique [*]. Les distances "sniper" de la 2ème guerre ne dépassaient que très rarement les 250-300m.
- Un télémètre n'est pas une panacée: surface non-réfléctive, taille de la cible, météo, piles/électronique, visibilité dans certains diapasons, temps pour utiliser, etc.
- Éviter la question est aussi une réponse
- Plus la trajectoire est tendue, moins la connaissance précise de distance est importante
- La trajectoire tendue ne sert à rien d'autre – si la distance est connue précisément, la trajectoire courbe fait très bien l'affaire

[*] avec évocation des esprits de Simo Häyhä et Ludmila Pavlitchenko, sacrifices de petits rongeurs, et décennies de méditations au sommet d'une montagne solitaire

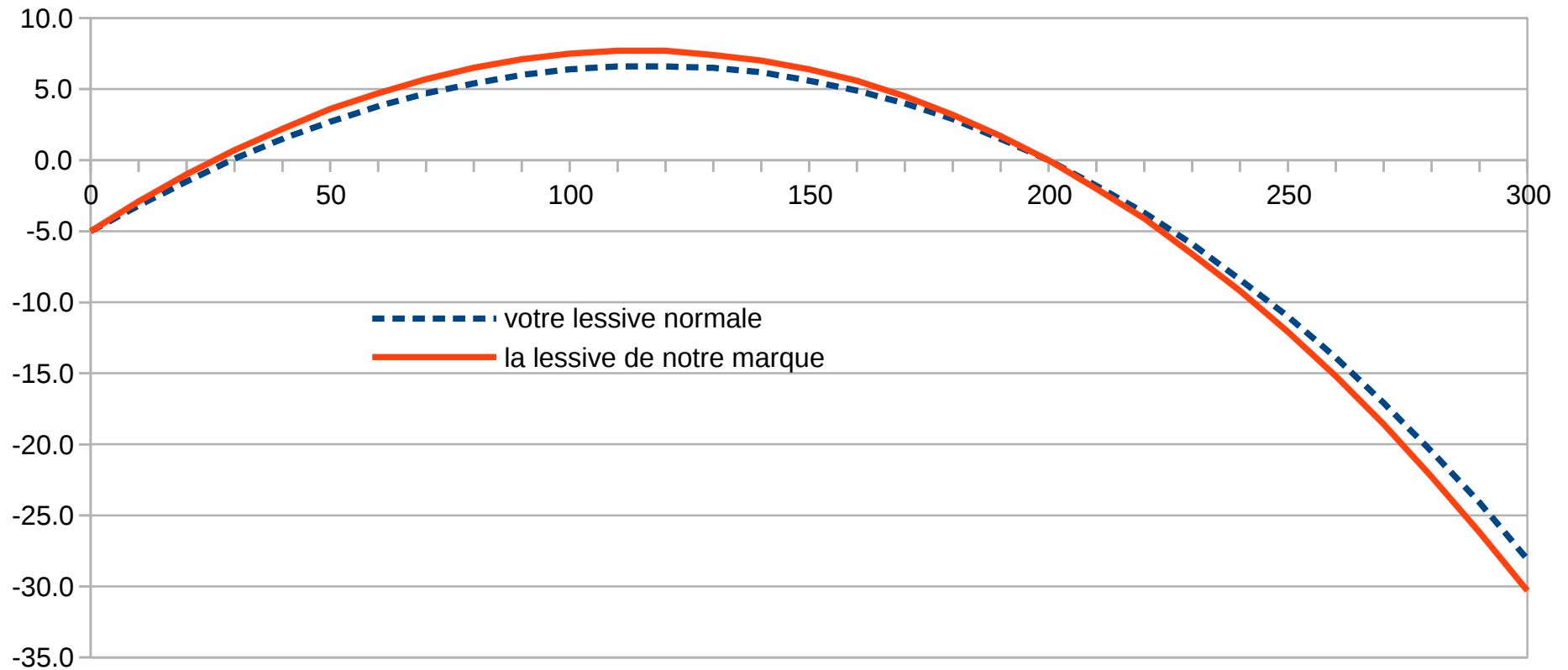
Comment tendre la T.

- Solution théorique: une balle avec (1) grande vitesse initiale, et (2) grand BC
- (1) contredit (2): plus de BC = plus de poids = moins de V_0
- Plus la balle est lourde, moins vite ça va, mais moins vite ça perd la vitesse
- Pas de miracle, pas de solution universelle (rien qu'à voir la nomenclature de projectiles disponibles) – tout est compromis

Bryan Litz et controverses

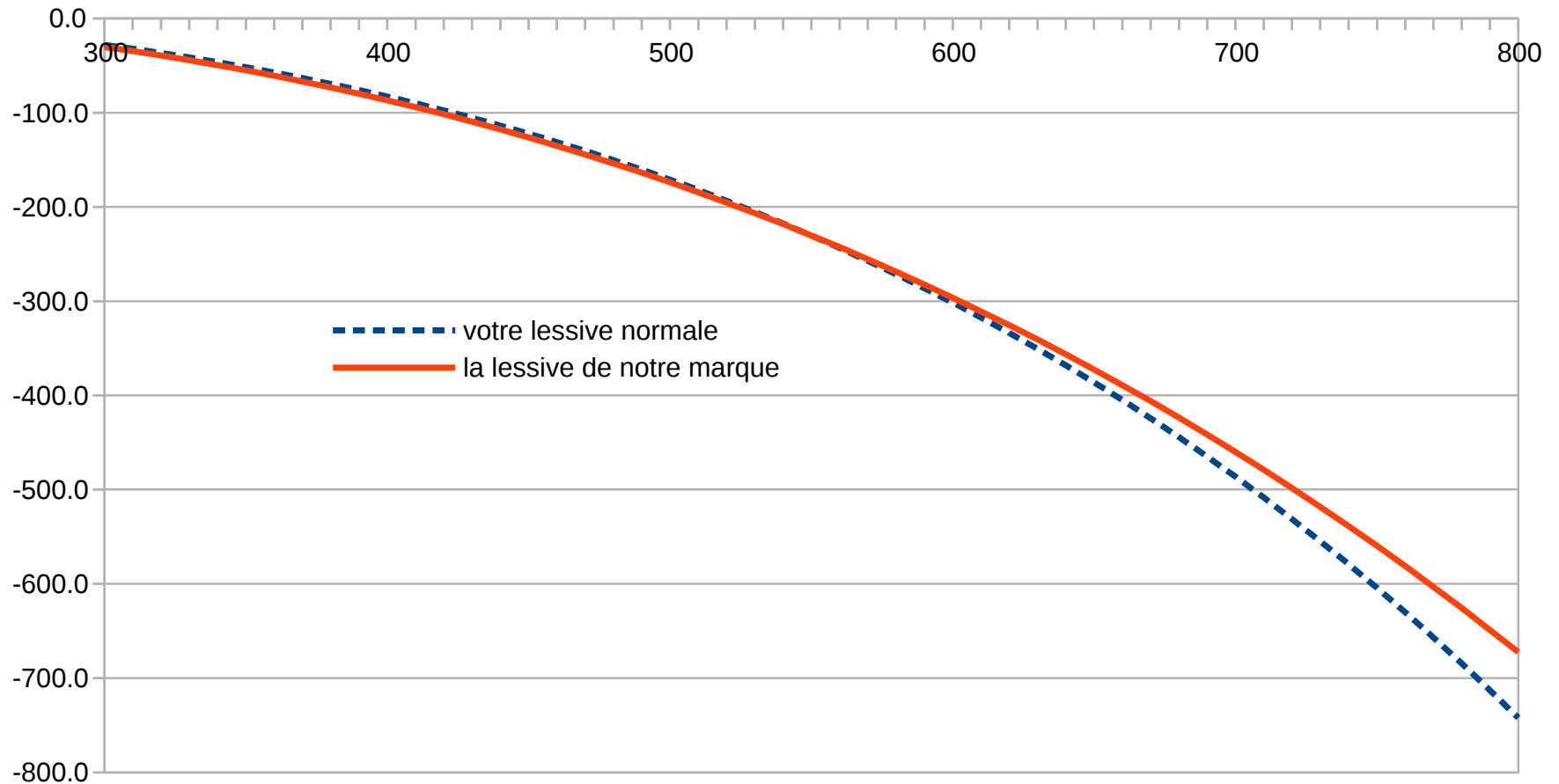
- Auteur de plusieurs excellents livres de vulgarisation balistique
- Ballisticien-chef de Berger Bullets (et vendeur de balles lourdes à gros BC)
- Affirme qu'à longue distance la trajectoire de balles lourdes à gros BC devient plus tendue que celle des balles légères plus rapides (mais perdant la vitesse plus vite)
- Logiquement, ça tient debout. Reste une question: "longue distance" = combien?

La pub à Litz (de près)

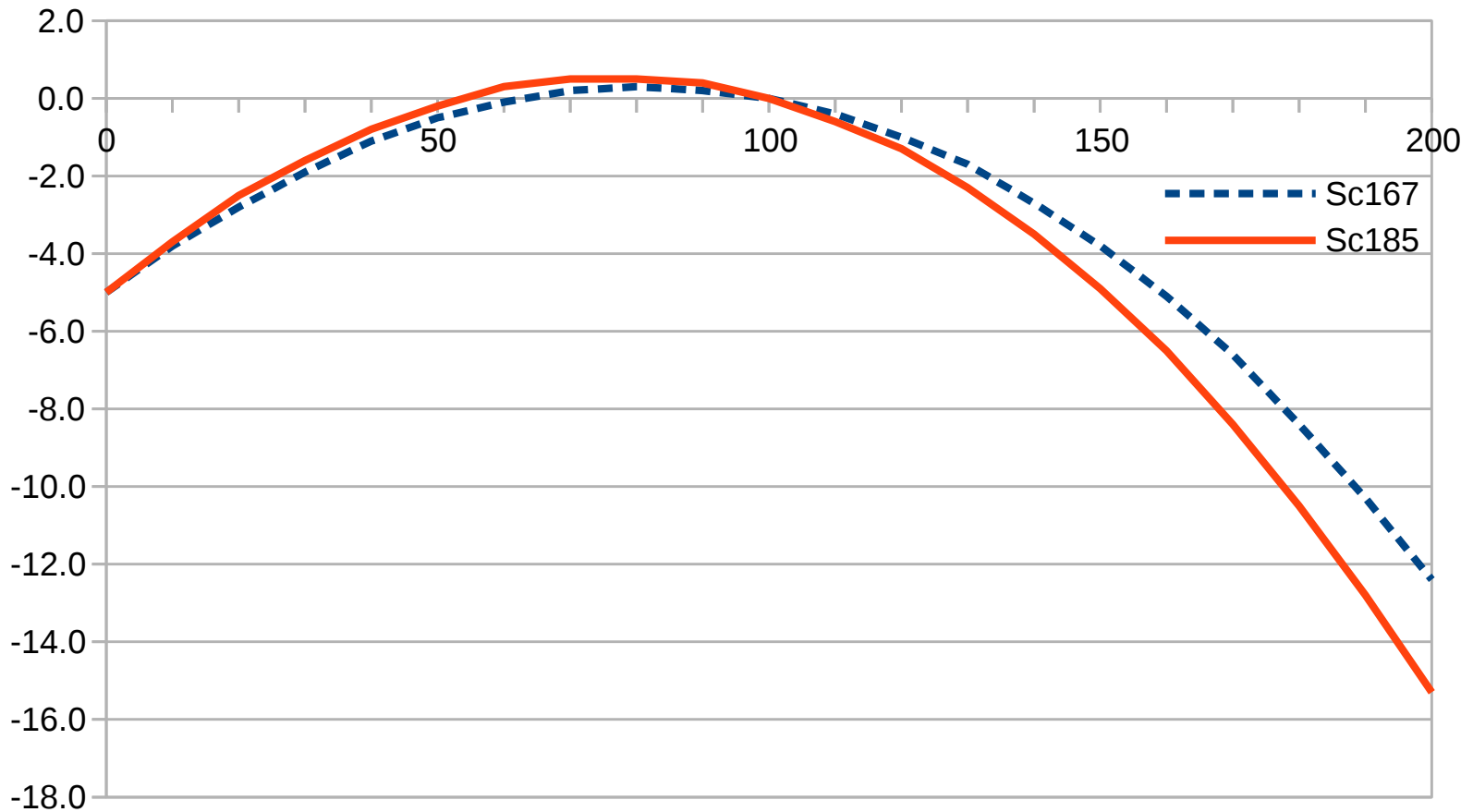


(il fallait s'y attendre, à courte distance la trajectoire des balles légères est plus tendue)

...et de loin (à ce qu'il dit)

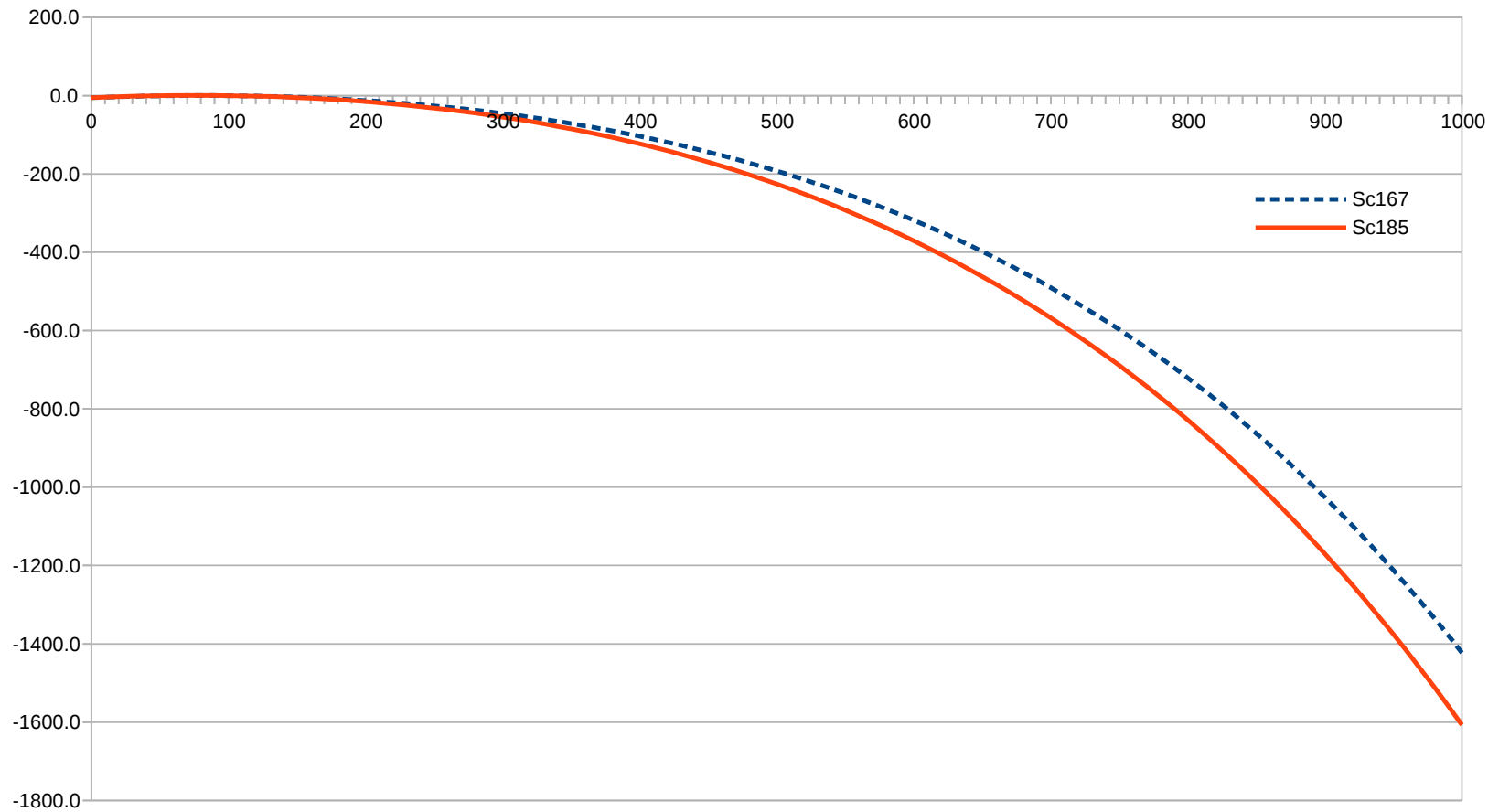


Raoul et Théodore



(munitions Lapua en .308 prises comme exemple)

...et ben non



Ce qui se passe en réalité

- Bien sûr, loin dans la trajectoire la balle lourde ira plus vite que la légère, car retient mieux la vitesse – dans notre cas les vitesses [horizontales] deviennent égales vers 890m
- Mais pour y arriver, la balle lourde a mis plus de temps, est tombée plus bas, et a pris plus de vitesse verticale
- La "platitude" de la trajectoire (angle d'attaque) ne s'égalise que vers 1300m [*]

[*] Dans le cas de .308 – une information intéressante, mais en pratique – totalement inutile



La T. tendue en pratique

Mêmes conclusions pour tous les fabricants et calibres (Lapua, Hornady, S&B, Barnaul, etc. 5.56, 6.5, .308, .338, .50 BMG, etc.)

2.7: A courte distance, la trajectoire de balles légères est plus tendue (merci, Capitaine Evidence!)

2.8: Un BC meilleur de balles lourdes n'égalise les vitesses que très loin dans la trajectoire; l'angle d'attaque devient le même vers 1300m dans les cal. 30 classiques ou .338 LM, et vers 900-1000m pour le 6.5 (CM, suédois, ou Lapua)

2.9: Pour toutes les distances courtes, moyennes et longues pratiques la trajectoire de balles légères reste plus tendue

2.10: Toutefois, dans le cadre du même calibre, la différence n'est pas dramatique