

# Chapitre 3

## La vitesse initiale

**geladen.ch**

Peaceful. Precise. Armed.

Balistique extérieure, cours de base / v.1 2023-10



Image pour attirer l'attention: le tableau épique de John Lurie "Bear Surprise".

# Petite excursion du côté de la balistique intérieure

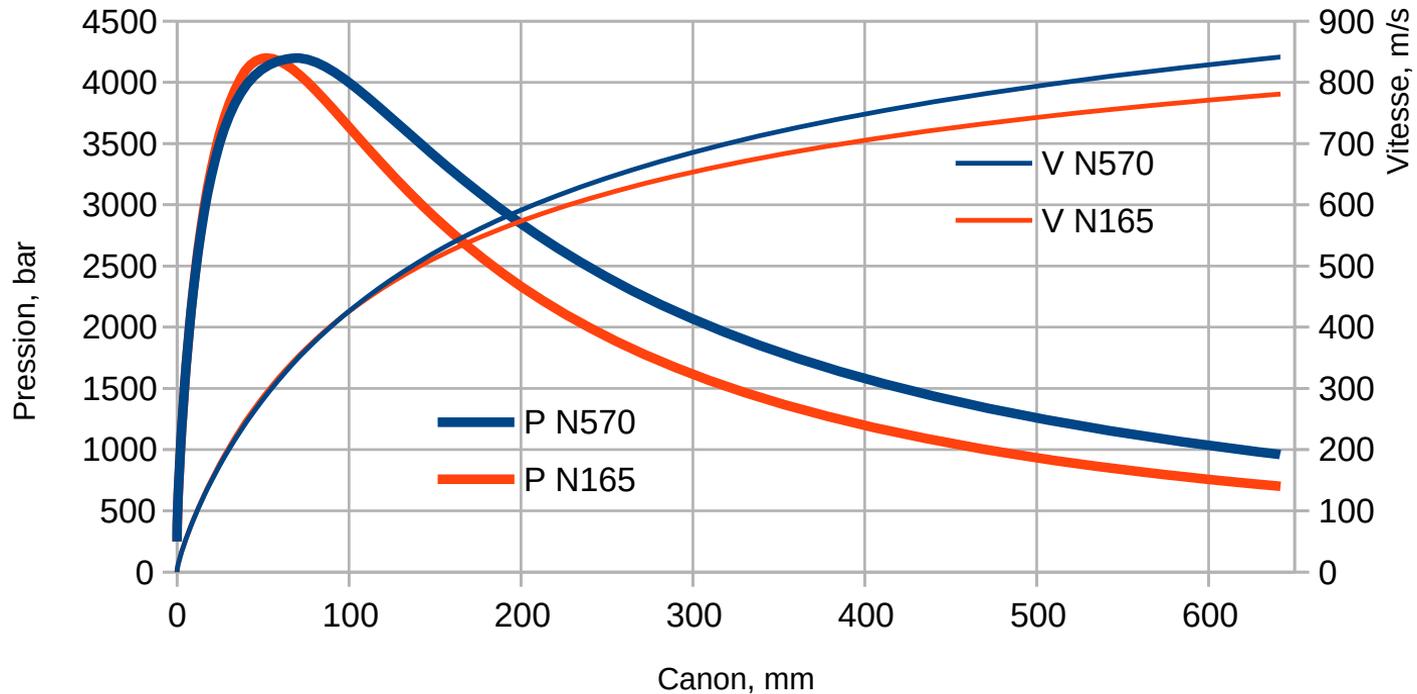
- Volume de la chambre, dimensions précises, géométrie de la douille, profondeur de placement du projectile.
- Courbe de combustion de la poudre, volume des gaz.
- Poids de la poudre et son volume.
- Diamètre, poids et surface porteuse du projectile.
- Longueur et diamètre intérieur du canon.
- Température de la charge avant combustion.
- Longueur de la partie lisse du canon (avant les rayures).
- La pression de sertissage du projectile dans la douille.

# Accélération

- La balle accélère sous pression des gaz de combustion.
- Le max de la pression est au début, quand la poudre brûle déjà en toute puissance, mais il n'y a pas encore beaucoup de volume pour les gaz.
- Pour les calibres fusil, le max de la pression est généralement atteint quand la balle traverse les 10 premiers cm du canon. A cette étape, elle a déjà atteint 40 à 60% de sa vitesse finale.

# Exemple: .338 Lapua Mag

.338 Lapua Mag: pression et vitesse



# Vitesse de combustion

- Le N165 brûle plus vite, atteint le max de pression plus vite, mais perd de la pression plus vite aussi – la poudre a fini de brûler complètement quand le projectile est avancé de ~470 mm dans le canon
- Le N570 est une poudre spéciale magnum, pour les douilles à grande capacité – ça atteint la pression max plus tard, mais continue à envoyer du jus (pression) jusque à ce que la balle quitte le canon; comme résultat, il y a 60 m/s de plus (7%) de  $V_0$  à la sortie, à la même pression maximale dans la chambre.
- Pour des canons plus courts, douilles plus petites, et projectiles plus légers le paysage peut être complètement inverse: une poudre plus rapide aurait le temps de transmettre tout son potentiel à la balle, pendant que la lente aurait "à peine commencé à vraiment brûler".



# Des pdi en rafale

- La  $V_0$  dépend de longueur du canon (Ô merci, Capitaine Évidence!).
- [un pdi bonus] Les règles abondantes sur Internet, du genre "enlever/ajouter  $XX$  m/s par  $YY$  mm de longueur du canon" montrent, au mieux, "la direction générale du nord". Les poudres peuvent être très différentes; dépendamment de la poudre et du segment du canon la divergence avec la réalité peut être de  $1.5x-2x$ .

(Ceci dit, pour les cartouches fusil et des canons de plus de 20 cm, la dépendance de  $V_0$  en fonction de la longueur du canon est quasiment linéaire.)

# Le canon influe

- Mais il y a aussi la chambre et le canon!
- La différence admissible de volume de la chambre n'excède en général pas 2% = peu d'influence sur la  $V_0$ .
- Le canon, par contre, est une circonstance bien plus déterminante.
- Au même calibre, le diamètre intérieur des canons est un peu différent, comme le pas et la forme des rayures.
- La surprise la plus traître – au fur et à mesure de l'usure du canon, la  $V_0$  diminue (la balle bouche le canon moins bien, et la pression des gaz est moindre).



# A retenir

- Avec la même cartouche, la même longueur du canon ne signifie pas la même vitesse initiale. Les canons de fabricant différents peuvent donner jusque à 2% de différence de  $V_0$ .
- A l'usure du canon, la  $V_0$  diminue. Si on est à la poursuite de la précision absolue, ça vaut la peine de la vérifier toutes les ~1000 cartouches.

# Rechargement automatique

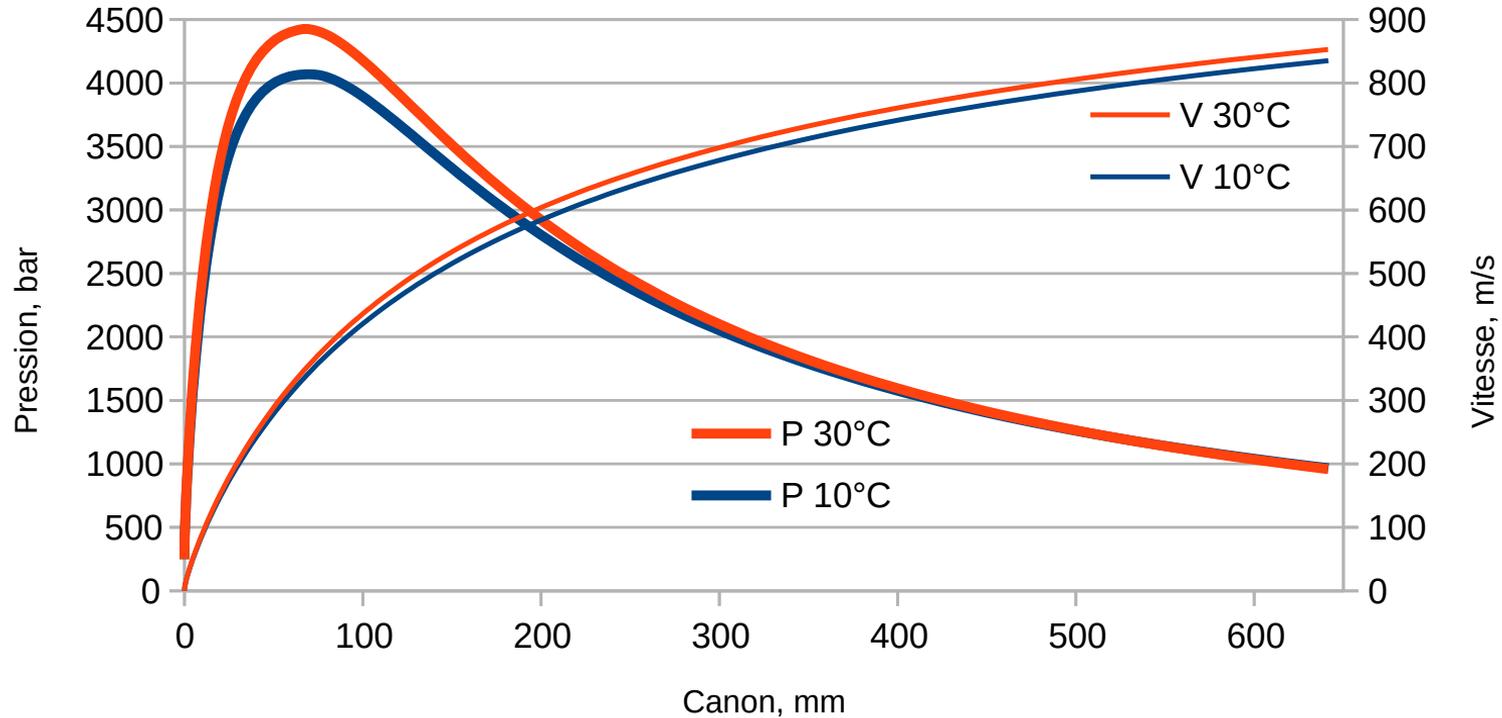
- Armes en semi- ou en full-auto: une partie de l'énergie des gaz de combustion est dépensée en rechargement, ce qui a forcément une influence sur la  $V_0$ .
- Cet effet est, toutefois, largement exagéré par la radio-stand.
- En pratique, la différence de  $V_0$  entre une arme en semi et la même arme avec l'emprunt des gaz bloqué ne dépasse pas 1%.

# La température, quand tu nous tiens (mauvaise nouvelle)

- Pour une combinaison arme+cartouche données, il n'existe pas de valeur de  $V_0$  juste. Il existe seulement une valeur de  $V_0$  pour une arme+cartouche+température données.
- **NOTA BENE:** on parle bien de la température de la poudre, ce qui n'est pas nécessairement égal à la température ambiante ou à la température de l'arme.

# En image

Pression et vitesse en fonction de la température





# V0 vs. °C : bonne nouvelle

- La dépendance de vitesse – température est pratiquement linéaire
- Il suffit donc de prendre les mesures de V0 deux fois, avec au moins 10°C d'écart, pour savoir combien de m/s il faut rajouter ou enlever pour chaque °C
- En moyenne, c'est du  $1 \pm 0.3$  m/s par °C. Même si c'est différent pour les calibres et poudres différents, quand je n'ai pas l'opportunité de prendre les mesures, j'assume 1 m/s par °C (et, en général, ne suis pas trop loin de la réalité).

# Des poudres insensibles à la température

- Oui, ça existe – des boîtes sœurs Hodgdon (série "Extreme") et IMR (série "Enduron"), et Vihtavuori s'y met aussi
- La dépendance est toujours là, mais c'est du 0.1-0.25 m/s par °C – négligeable en pratique.

# La balistique intermédiaire

## *strikes back*

- La présence d'accessoires au bout du canon peut influencer la  $V_0$ .
- Un frein de bouche développé ou un réducteur de son peut enlever entre 2 et 5 m/s de  $V_0$ .
- Conclusion : si possible, mesurer la  $V_0$  avec les mêmes accessoires au bout du canon qui sont prévus pour le tir



# si on ne devait retenir qu'une seule chose

La vitesse initiale – IL FAUT LA MESURER !

Il ne faut pas croire les chiffres écrits quelque part  
(si ce ne sont pas des chiffres d'un manuel  
militaire).

# Je vous ai menti tout le long

- J'ai dit "*Pour une combinaison arme+cartouche données, il n'existe pas de valeur de  $V_0$  juste. Il existe seulement une valeur de  $V_0$  pour une arme+cartouche+**température** données.*"
- C'est faux. Pour une arme + cartouche + température données, il existe (a) la vitesse initiale moyenne, et (b) la dispersion de vitesses autour de cette vitesse moyenne.

# La déviation standard

- Aussi connue comme écart-type, ou sigma ( $\sigma$ ), ou s
- Un paramètre valable de point de vue scientifique (contrairement p.ex. à l'écart maximal de valeurs, trop sujet au hasard).
  - $\pm 1 \sigma$  – 68%
  - $\pm 2 \sigma$  – 95%
  - $\pm 3 \sigma$  – 99.7%
- Par exemple, avec  $\sigma = 5$  m/s
  - 95 % des vitesses seront dans les  $\pm 10$  m/s de la moyenne
  - presque tous les coups (99.7 %) seront dans les  $\pm 15$  m/s de la moyenne

# Le Télétubbie Infernal en embuscade



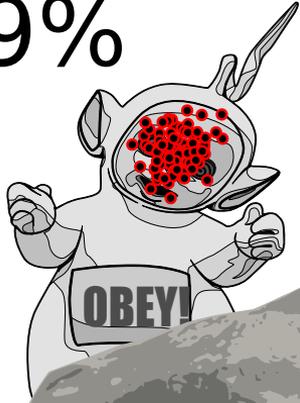
# One shot, 0.94 kill (juste pour préciser)

- Pour la suite, les chiffres de probabilité sur les illustrations représentent bien la probabilité de toucher *au premier coup*.
- Les chiffres correspondent à la probabilité de toucher définitive (comme si on tirait un nombre infini de coups).
- La centaine d'impacts dessinée pour illustration peut, par un hasard statistique, ne pas tout à fait tomber dans ce chiffre.
- On imagine toutes les autres conditions (connaissance de la distance, vent, etc.) parfaites.

# Probabilité de toucher: tête à 400 m

400m,  $s=3\text{m/s}$

**96.9%**



400m,  $s=5\text{m/s}$

**95.5%**



400m,  $s=8\text{m/s}$

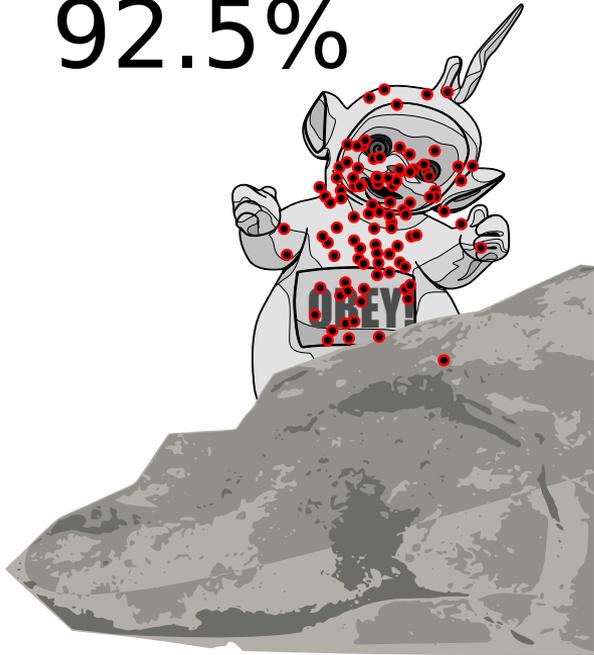
**91.8%**



# Probabilité de toucher: torse à 800m

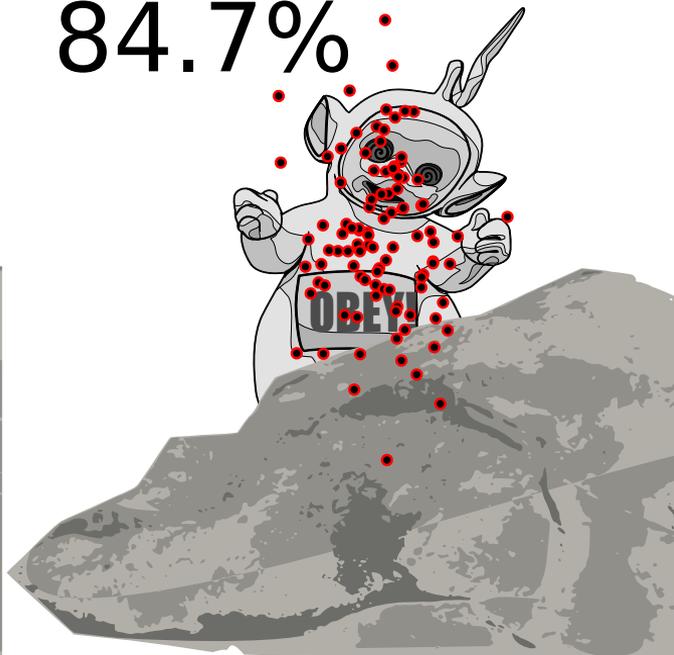
800m,  $s=3\text{m/s}$

92.5%



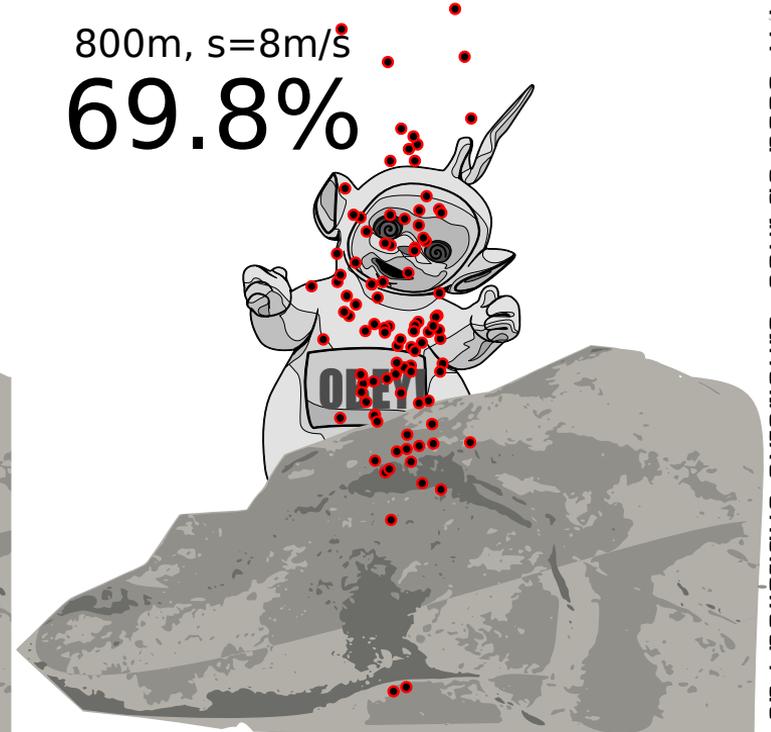
800m,  $s=5\text{m/s}$

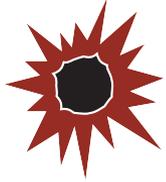
84.7%



800m,  $s=8\text{m/s}$

69.8%





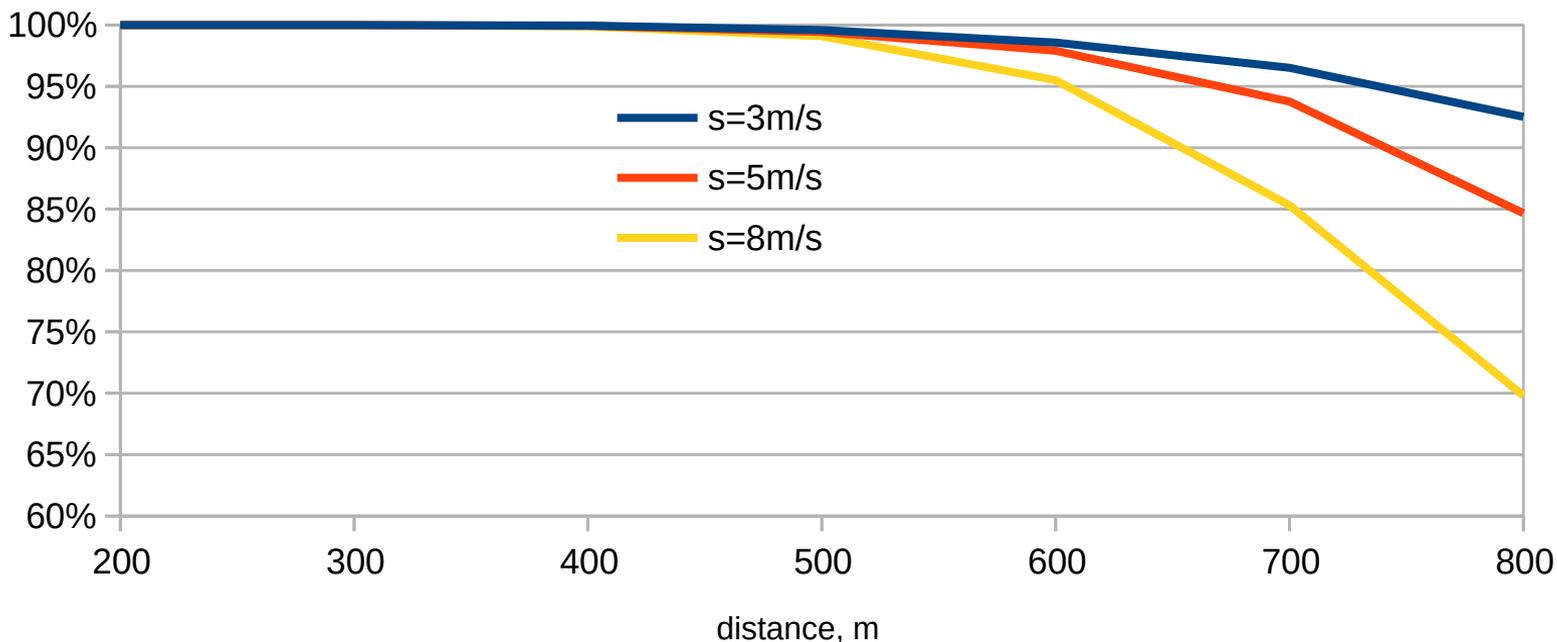
# Enfin, un pdi

- La dispersion de vitesses initiales se traduit en dispersion verticale d'impacts. Ce phénomène est minime à courtes distance, mais aux distances moyennes et longues peut devenir très significatif (dépendamment de la taille de la cible).
- P.ex. pour un fusil précis ("sub-MOA"), entre une cartouche match ( $s < 3\text{m/s}$ ) et une cartouche de production de masse ( $s > 6\text{m/s}$ ), même si on suppose les mêmes groupements à courte distance, la différence de probabilité de toucher une cible torse au loin peut largement dépasser 20%.

# Aimez-vous les courbes comme je les aime?

Probabilité de toucher une cible "torse"

dépendamment de l'écart-type de la vitesse initiale



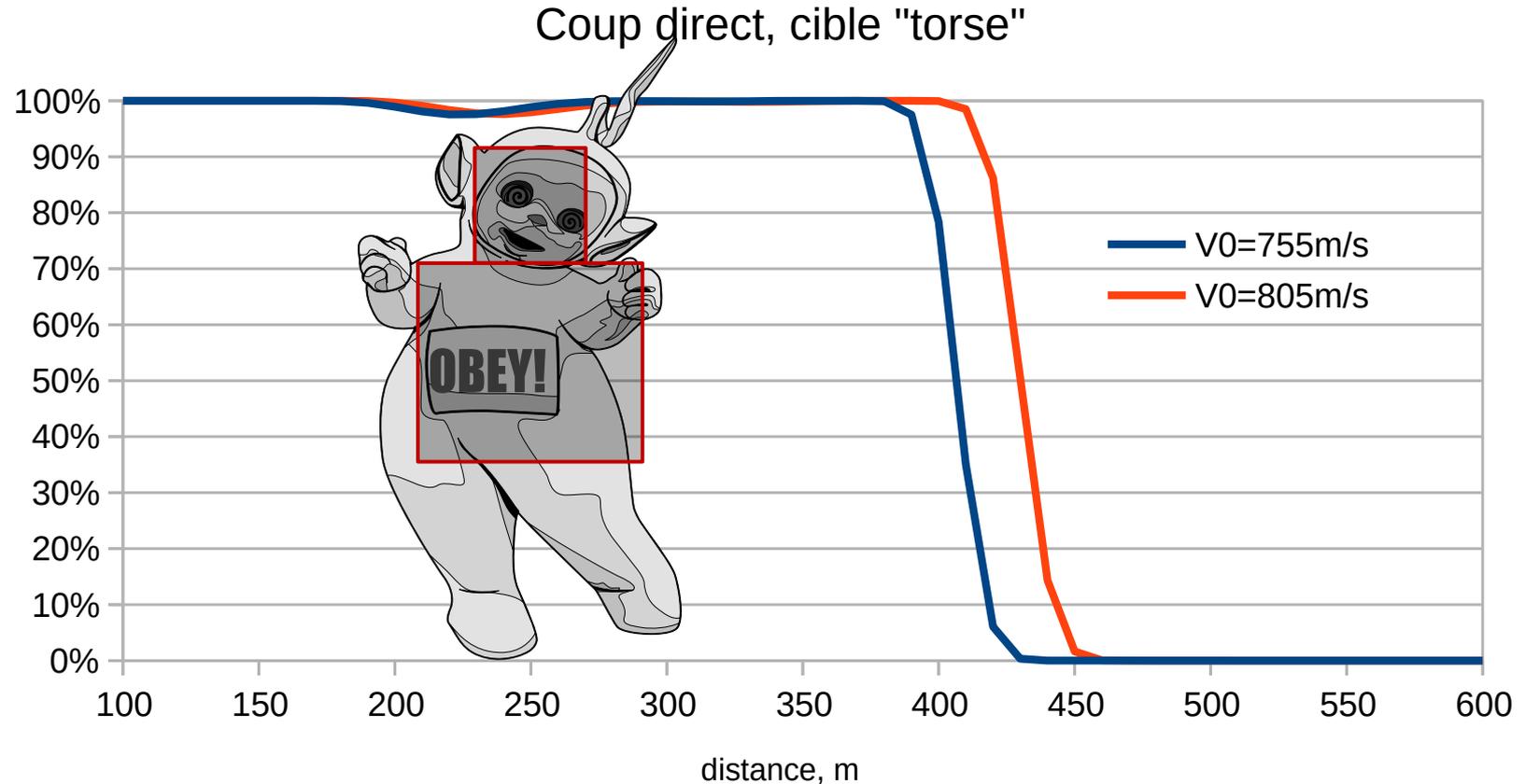
# L'absolu de la V0

- La grande V0 fait objet d'un culte chez les rechargeurs qui tirent loin
- Gratter encore +3 m/s des charges qui sont déjà aux limites de surpression ? Maintenant on va voir à quel point c'est justifié

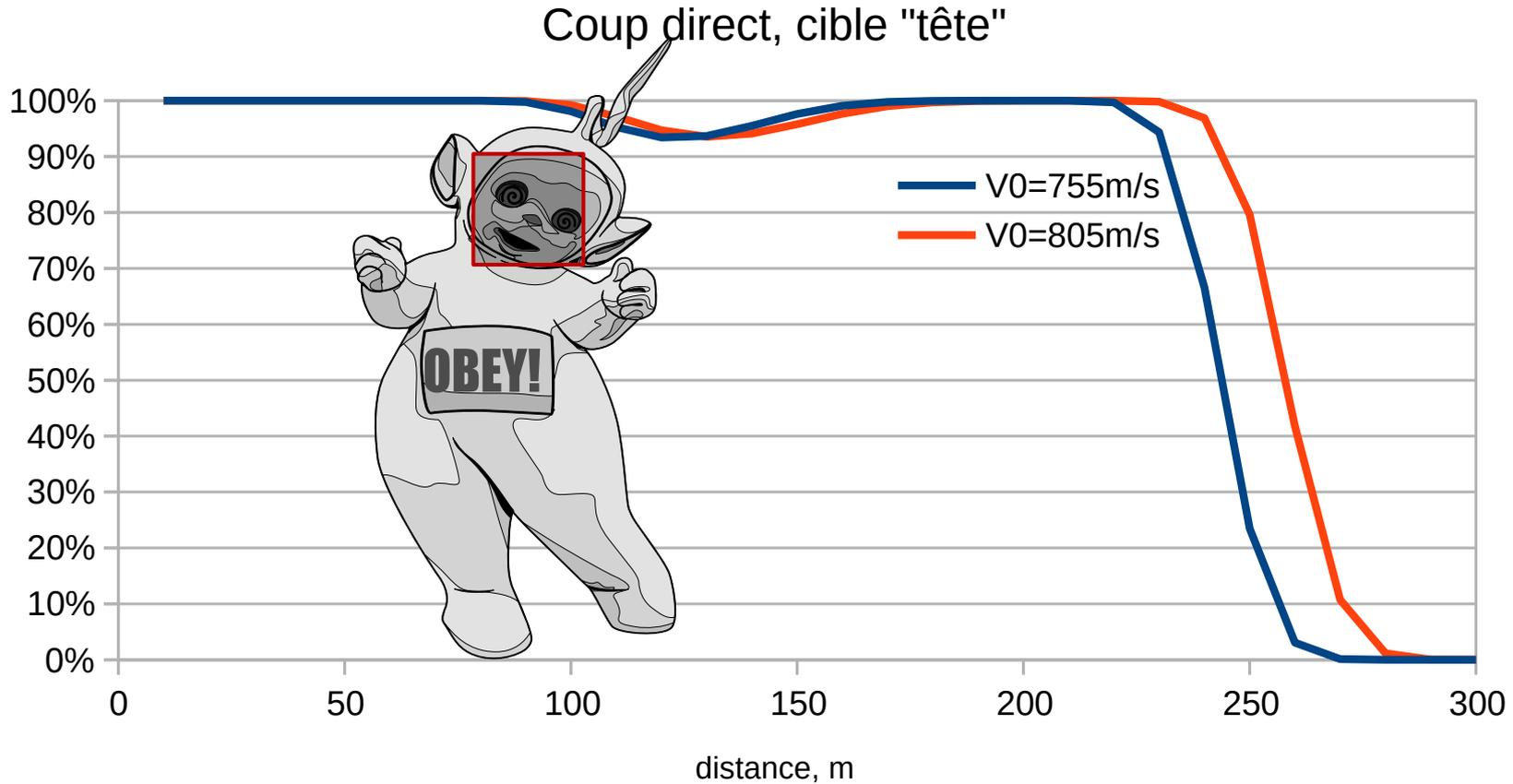
# La distance de tir direct (DTD)

- Le segment où la trajectoire ne sort pas du gabarit vertical de la cible
- Pour une cible de taille  $X$ , la DTD est définie par le temps qu'il faut à la balle pour monter à la hauteur  $\frac{1}{2}X$ , et ensuite retomber de  $X$
- Le temps est défini par la force de gravité – à peu de choses près, la même sur toute la surface de la Terre
- La distance horizontale que la balle parcourt pendant ce temps est la DTD
- Cette distance est proportionnelle à la vitesse moyenne de la balle sur ce segment, et grosso-modo proportionnelle à la vitesse initiale

# La probabilité de toucher en tir direct



# La probabilité de toucher *strikes again*





# La conclusion est sans surprises

En augmentant la  $V_0$  de  $N\%$ ,  
on augmente aussi la DTD d'environ  $N\%$

# La trajectoire tendue: à quoi ça sert

- Les tireurs modernes sont gâtés par les télémètres laser.
- La clé est la certitude ou l'incertitude de mesure de distance jusque à la cible.

# Un télémètre laser compact

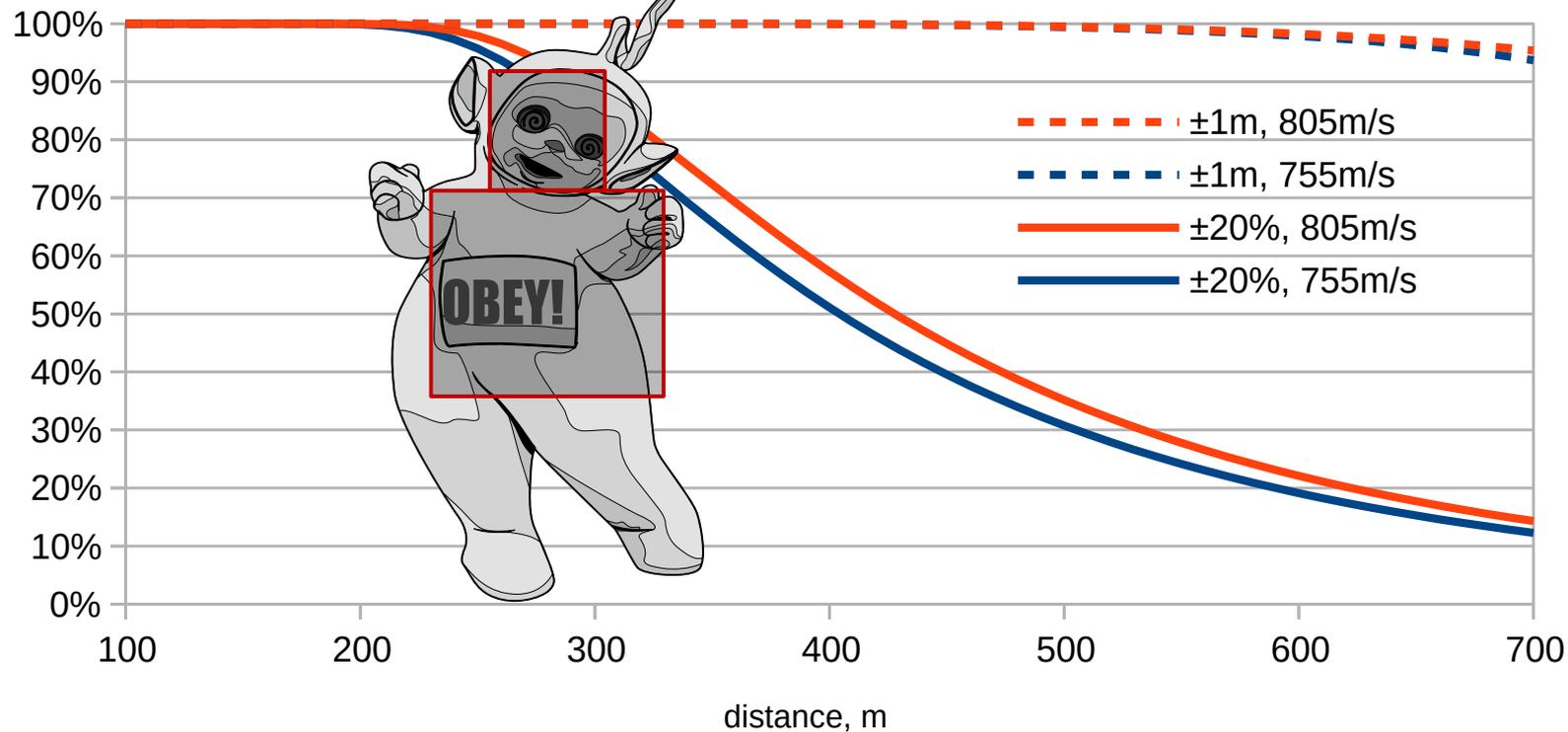
- Fut une révolution dans le tir de précision aux armes légères, mais –
  - n'est pas toujours présent sous la main
  - ne marche pas toujours
  - il n'y a pas toujours la possibilité de l'utiliser
- On revient aux méthodes des grands-pères, "à l'œil"
- Ça marche mieux au milieu urbain, quand autour il y a de gros objets de taille connue, mais parmi les rochers, sans points de référence connus, une estimation de  $\pm 20\%$  est – croyez moi – plutôt optimiste.



image pour attirer l'attention: habitat naturel du teletubbie infernal

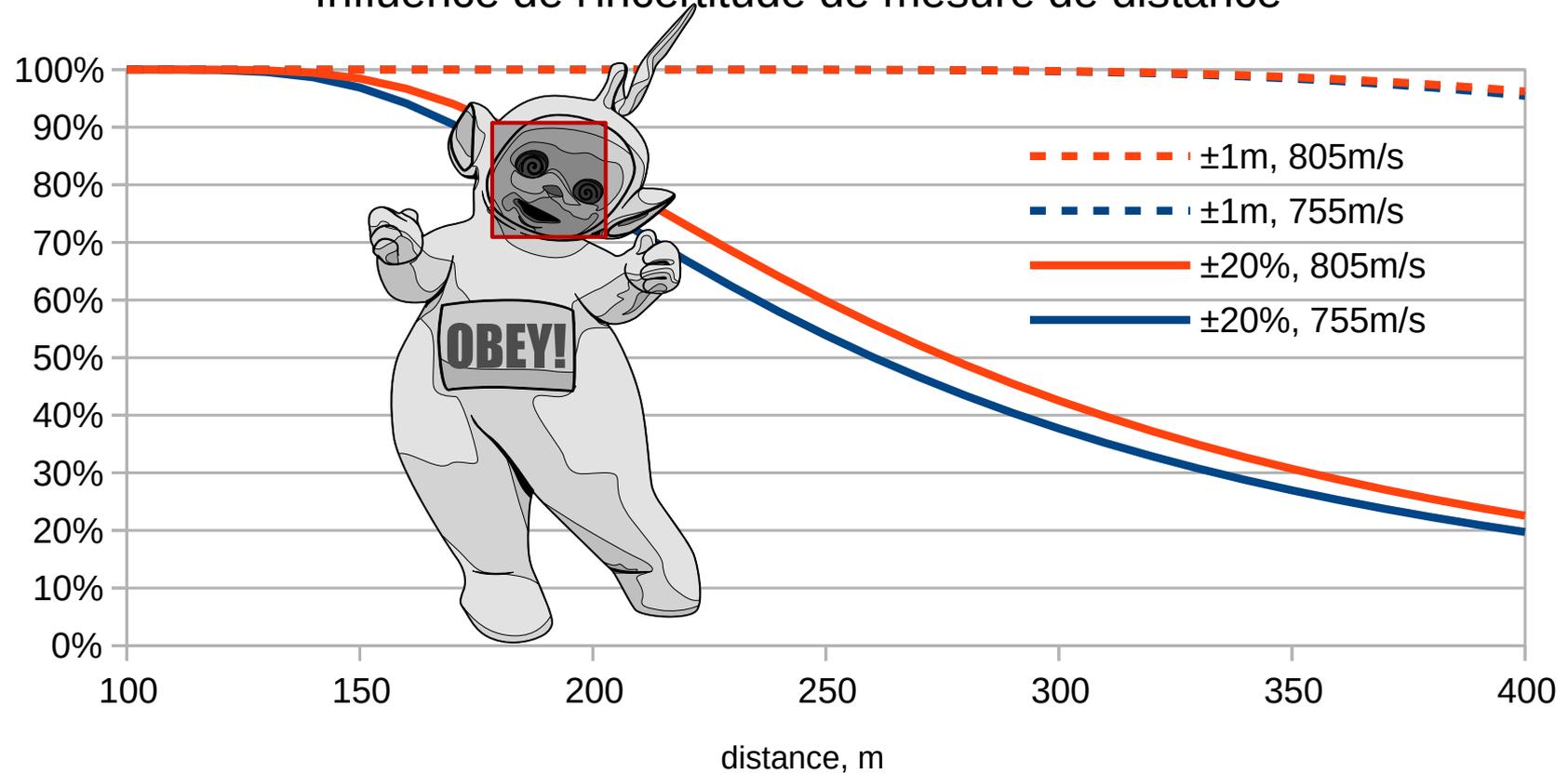
# Estimation de distances et probabilité de toucher

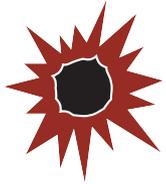
Influence de l'incertitude de mesure de distance



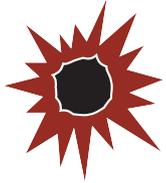
# ... (bis)

## Influence de l'incertitude de mesure de distance

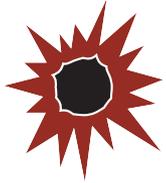




- [peu visible sur les graphiques] Avec une bonne certitude de mesures de distance (c. à d. avec un télémètre laser) l'augmentation de la  $V_0$  donne un petit plus en termes de probabilité de toucher, mais uniquement à longue distance.
- Pour 50 m/s (~15-16%) d'augmentation de  $V_0$ , on observe 5-6% d'augmentation de probabilité de toucher à très longue distance. Sachant qu'en réalité la différence entre un chargement "normal" qui ménage le canon, et un "ultra-chaud" aux limites de surpression, ne dépasse guère 25 m/s, on peut s'attendre au mieux à 2-3% de plus de probabilité de toucher.
- A vous de décider, camarades, si vous le voulez, et à quel prix.



- Si l'erreur d'estimation de distances est grande, l'utilité d'une grande  $V_0$  se manifeste déjà à des distances moyennes. L'ordre de grandeur de cette utilité est le même que dans le pdi précédent.
- [conclusion collatérale] La certitude d'estimation de distances à la cible (avec l'estimation du vent) est un facteur crucial dans la probabilité de toucher – généralement beaucoup plus important que la  $V_0$  ou son écart-type.



[aussi collatéral, mais aussi très utile] En absence d'un télémètre laser, à courte-moyenne distance, un coup direct bien calculé en règle générale donne une meilleure probabilité de toucher que des tentative de déterminer la distance "à l'œil". Les concepteur de la Kalach ont tout fait juste.

# Chronographes : technologies disponibles

- Micro-ondes (radar Doppler)
- Magnétique
- Optique
- Acoustique

# Radars Doppler : Labradar



# Labradar : résumé

- Excellente précision : erreur max. absolue annoncée – 0,1%, soit 1 m/s pour 1000 m/s, écart-type des mesures estimé à  $< 0.5$  m/s
- Facile à installer et à régler, n'est pas exposé aux balles

Mais...

- \$\$\$
- est très capricieux sur les terrains où il y a beaucoup d'obstacles autour du faisceau radar, ou lorsqu'il y a des cibles métalliques
- enregistre parfois les tirs des voisins (mais ça se voit tout de suite)

# Magnétique : Magnetospeed



# Magnetospeed : résumé

- Très précis pour la  $V_0$  moyenne, parfaitement correct pour l'écart-type
- Compact, facile à monter (quand ça se monte)
- Mesure vraiment la  $V_0$  à la bouche, pas besoin de trafiquer la valeur après

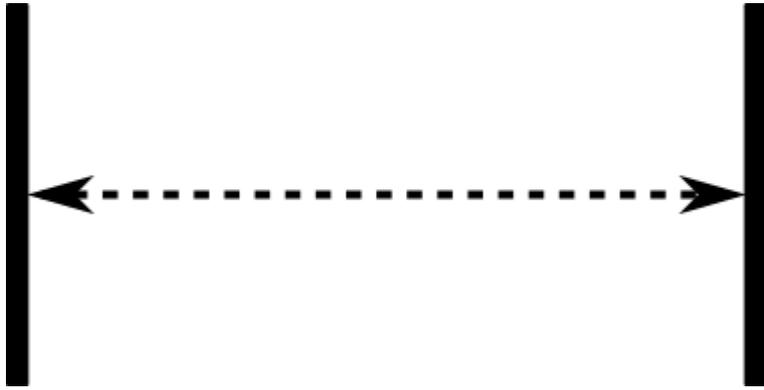
Mais...

- Montage de loin pas universel (freins de bouche, sils, prises de bayo, etc.)

# Chronos optiques



# Chronos optiques : alignement des capteurs



**BON**



**PAS BON**

# Chronos optiques : résumé

- Privilégier la conception la plus rigide, de préférence non coulissante, et la plus longue possible.
- A des prix très raisonnables, la technologie reste parfaitement fonctionnelle

Mais...

- La mise en place correcte d'un chronographe optique est un exercice plus complexe qu'on ne le pense.
- Les chronographes optiques peuvent être capricieux lorsque l'éclairage des capteurs avant et arrière est inégal (par exemple, l'un à l'ombre et l'autre au soleil). Il en va de même pour le travail à l'intérieur, en lumière artificielle. Avec des lampes fluorescentes, par exemple, les aléas sont garantis.
- De bons résultats nécessitent le respect d'un rituel rigide. Les mesures de vitesse ne sont pas toujours compatibles avec d'autres exercices de tir.
- Un chrono optique n'indique pas la vraie vitesse initiale. Il faut la calculer par rapport à la distance à l'instrument.
- L'instrument vit dangereusement – sur le trajet "bouche du canon → cible" – et n'est pas du tout blindé.

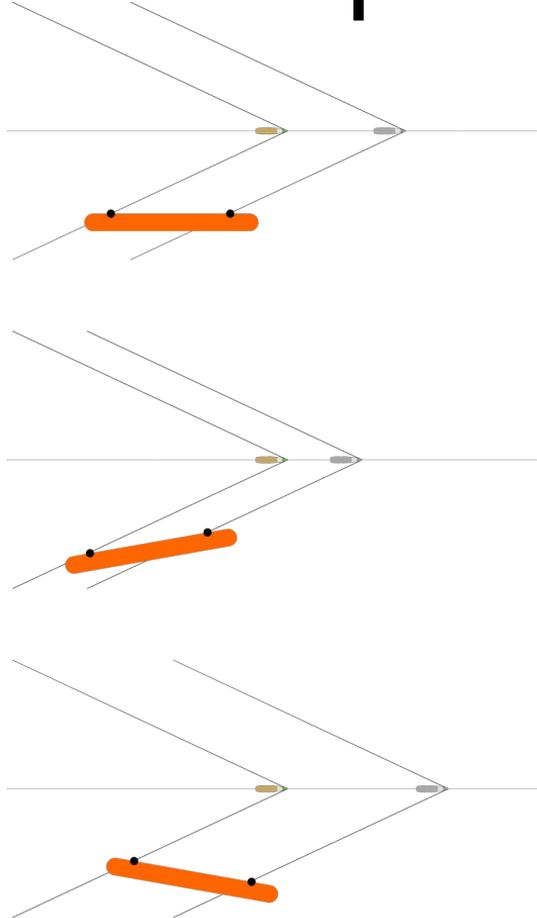
# Distance au chrono

- $V_0$  n'est pas égal à  $V_3$  ou  $V_5$
- Mesurer et en tenir compte
  - directement dans la calculette
  - ou en jouant avec la  $V_0$  dans la calculette pour obtenir la bonne valeur à la bonne distance (dans ce cas il vaut mieux mettre le chrono à une distance entière en m de la bouche du canon)

# Chronos acoustiques



# Chrono acoustique compact : problème fondamental



Extrêmement sensible à  
l'angle :  $1^\circ$  d'inclinaison  
 $\approx 5\%$  d'erreur de  
mesures

et plus la balle est rapide  
– plus l'erreur est grande

# Chronos acoustiques : résumé

L'idée n'était pas mauvaise, mais très difficile à faire juste (=facile à utiliser).

Rien de bien convaincant sur le marché.

# Technologies chrono : résumé

1. Si l'argent n'est pas un obstacle – Labrador, sinon...
2. S'il on arrive à le fixer au canon, alors  
Magnetospeed, sinon...
3. Optique, aussi rigide que possible et aussi long que possible.
4. [acoustique - non recommandé]

# La température, quand tu nous tiens (si la poudre n'y est pas insensible)

- "Près du corps" = ingérable. Cartouches à l'ombre! (laisser ~30 minutes pour être sûr).
- En manuel – ne recharger qu'avant de lâcher le coup (éviter que la chambre chaude ne chauffe la poudre)
- En semi – tirer 1 coup / minute (la torture!)
- Pour déterminer la dépendance de température, s'assurer qu'il y a au moins 10°C de différence entre les journées de mesure, ensuite  
$$dt = (V1-V2)/(T1-T2)$$

# Combien de cartouches?

Intervalle de confiance ( $\pm$  m/s) de V0 dépendamment de l'écart type

coups	écart type								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	18.0	27.0	35.9	44.9	53.9	62.9	71.9	80.9	89.8
3	5.0	7.5	9.9	12.4	14.9	17.4	19.9	22.4	24.8
4	3.2	4.8	6.4	8.0	9.5	11.1	12.7	14.3	15.9
5	2.5	3.7	5.0	6.2	7.4	8.7	9.9	11.2	12.4
6	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5
7	1.8	2.8	3.7	4.6	5.5	6.5	7.4	8.3	9.2
8	1.7	2.5	3.3	4.2	5.0	5.9	6.7	7.5	8.4
9	1.5	2.3	3.1	3.8	4.6	5.4	6.1	6.9	7.7
10	1.4	2.1	2.9	3.6	4.3	5.0	5.7	6.4	7.2
11	1.3	2.0	2.7	3.4	4.0	4.7	5.4	6.0	6.7
12	1.3	1.9	2.5	3.2	3.8	4.4	5.1	5.7	6.4
13	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0
14	1.2	1.7	2.3	2.9	3.5	4.0	4.6	5.2	5.8
15	1.1	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.5
16	1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	3.7	4.3	4.8	5.3
17	1.0	1.5	2.1	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1
18	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
19	1.0	1.4	1.9	2.4	2.9	3.4	3.9	4.3	4.8
20	0.9	1.4	1.9	2.3	2.8	3.3	3.7	4.2	4.7
21	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1	4.6
22	0.9	1.3	1.8	2.2	2.7	3.1	3.5	4.0	4.4
23	0.9	1.3	1.7	2.2	2.6	3.0	3.5	3.9	4.3
24	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.2
25	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1

## Nombre de coups indicatif

Type	Coups nécessaires
Rechargement top maniaque	5
Bon rechargement ou match de grandes marques	10
"Match" moyenne gamme / GP11 / GP90	15
Munition d'entraînement	20
Surplus / prod de masse	30