

Balles en vol: la balistique extérieure pratique

La science expliquée simplement
aux tireurs qui ont envie de comprendre

Cours de base

Chapitre 0

Introduction

Premier diapo

Que Dieu me garde de l'illusion de tout savoir.

Je ne prétends pas détenir la vérité absolue.

Toute question ou commentaire sont bienvenus à tout moment!

Fin du premier diapo.

Sujet du cours

- Uniquement la balistique extérieure. Avec de petites excursions dans l'intérieure, là où c'est absolument nécessaire pour comprendre.
- Question principale: où ira la balle / comment toucher une cible lointaine – prédiction de trajectoire.
- Facteurs (de balistique extérieure) qui influencent la probabilité de toucher, et comment vivre avec.

Plan d'attaque

1. Chute et élévation
2. Coefficient balistique
3. Vitesse initiale
4. Atmosphère
5. Vent
6. Probabilité de toucher
7. Calculettes : théorie vs. réalité

Chapitre 1

Les bases de la trajectoire
—
chute et élévation

Chute : la théorie

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



Et déjà les premières conclusions pratiques

La trajectoire d'une balle dans une atmosphère donnée est à 99.9 % définie par 2 facteurs :

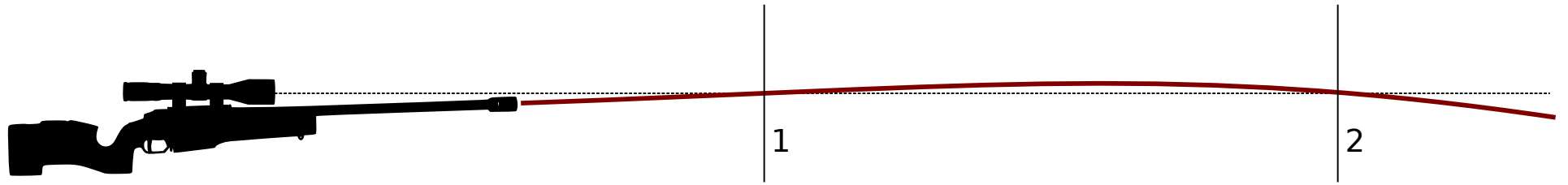
1. La vitesse initiale
2. Le coefficient balistique, c. à d. la capacité de surmonter résistance de l'air

Dites bonjour au Capitaine Evidence

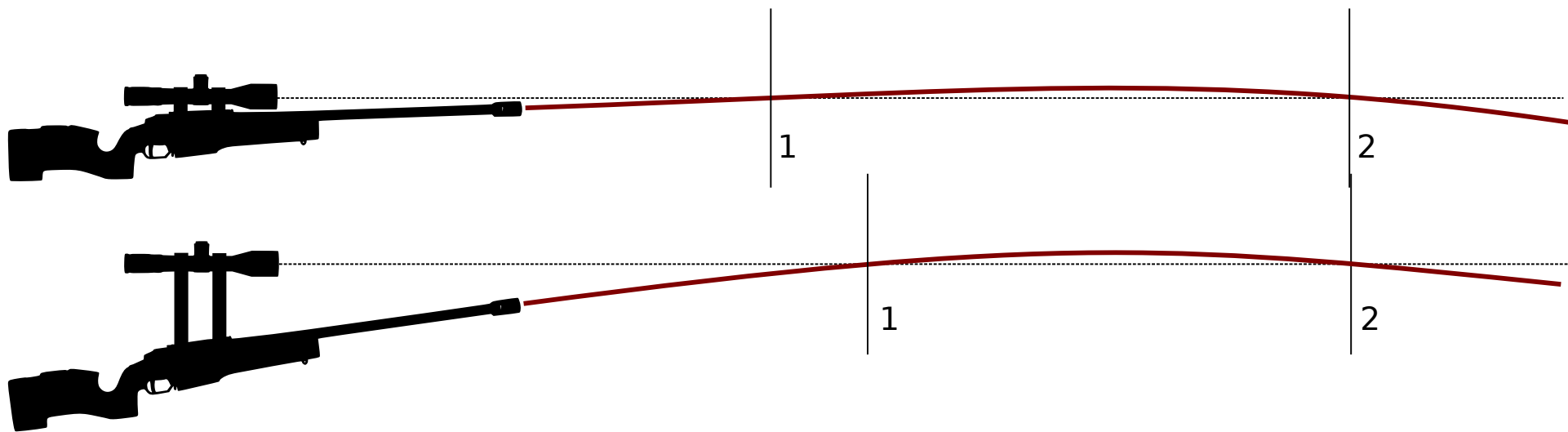
Si l'axe de visée est parallèle à l'axe du canon, la balle ne va jamais toucher la cible.



En réalité : toujours un petit angle



La lunette de Mme Girafe

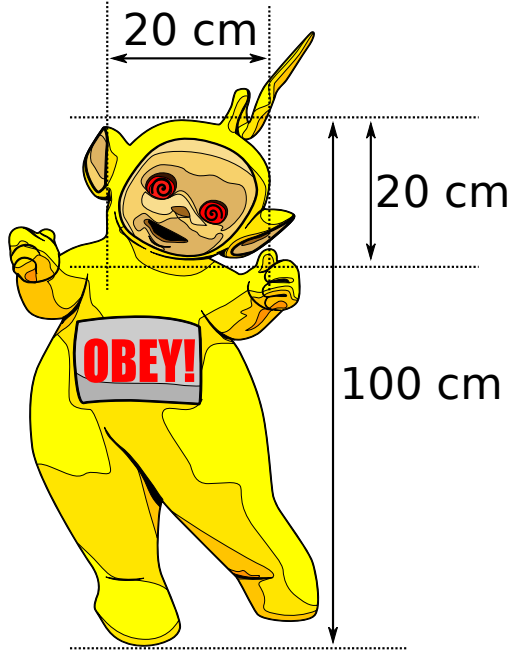




Zérotage à courte distance

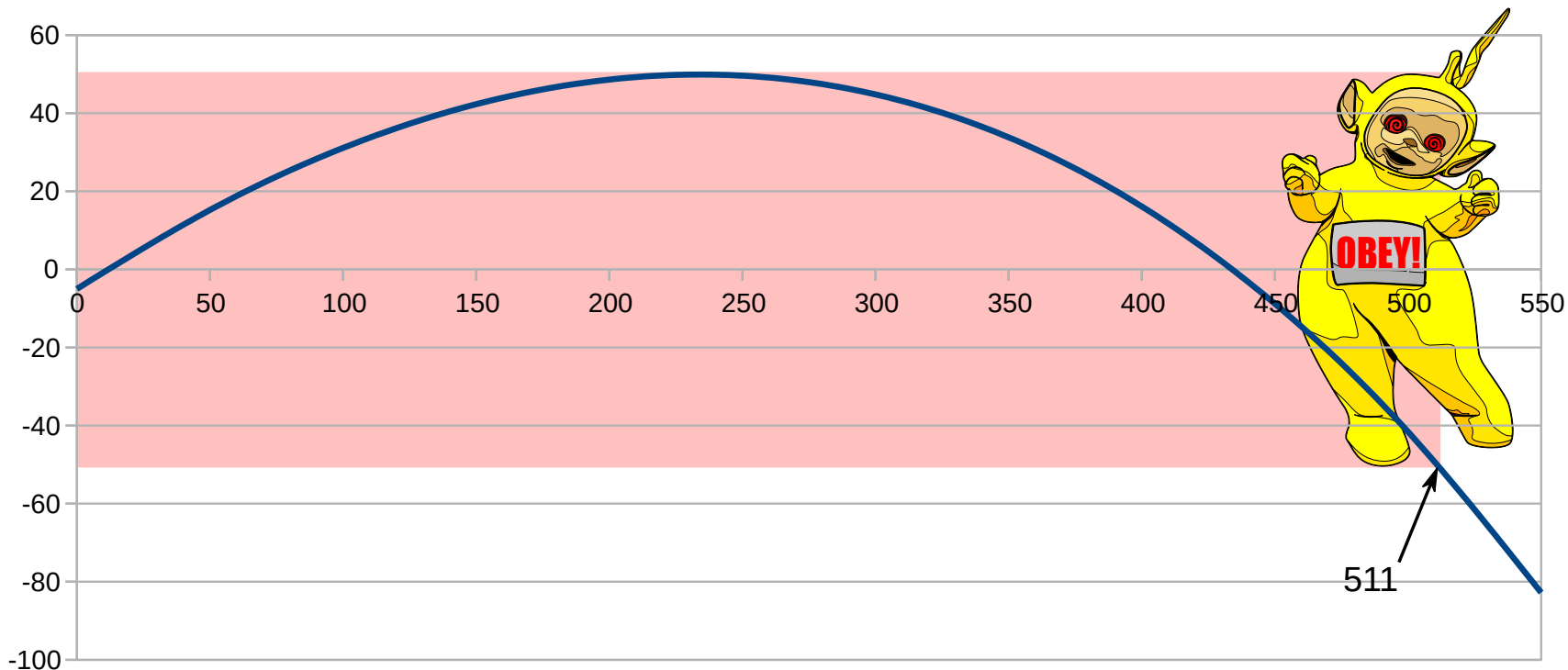
- Est très brouillon, parce qu'il est difficile de déterminer le point d'impact avec une précision suffisante (p.ex. 0.1 mrad à $25 \text{ m} = 2.5 \text{ mm}$)
- Le zéro proche est extrêmement sensible à la hauteur de l'axe de visée. (p.ex. 1 cm de différence de hauteur de visée, à $25 \text{ m} = 0.4 \text{ mrad} = 4 \text{ clics}$)

Dites bonjour au Téléubbie Infernal (*teletubus infernus*)



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

Distance maximale de tir direct

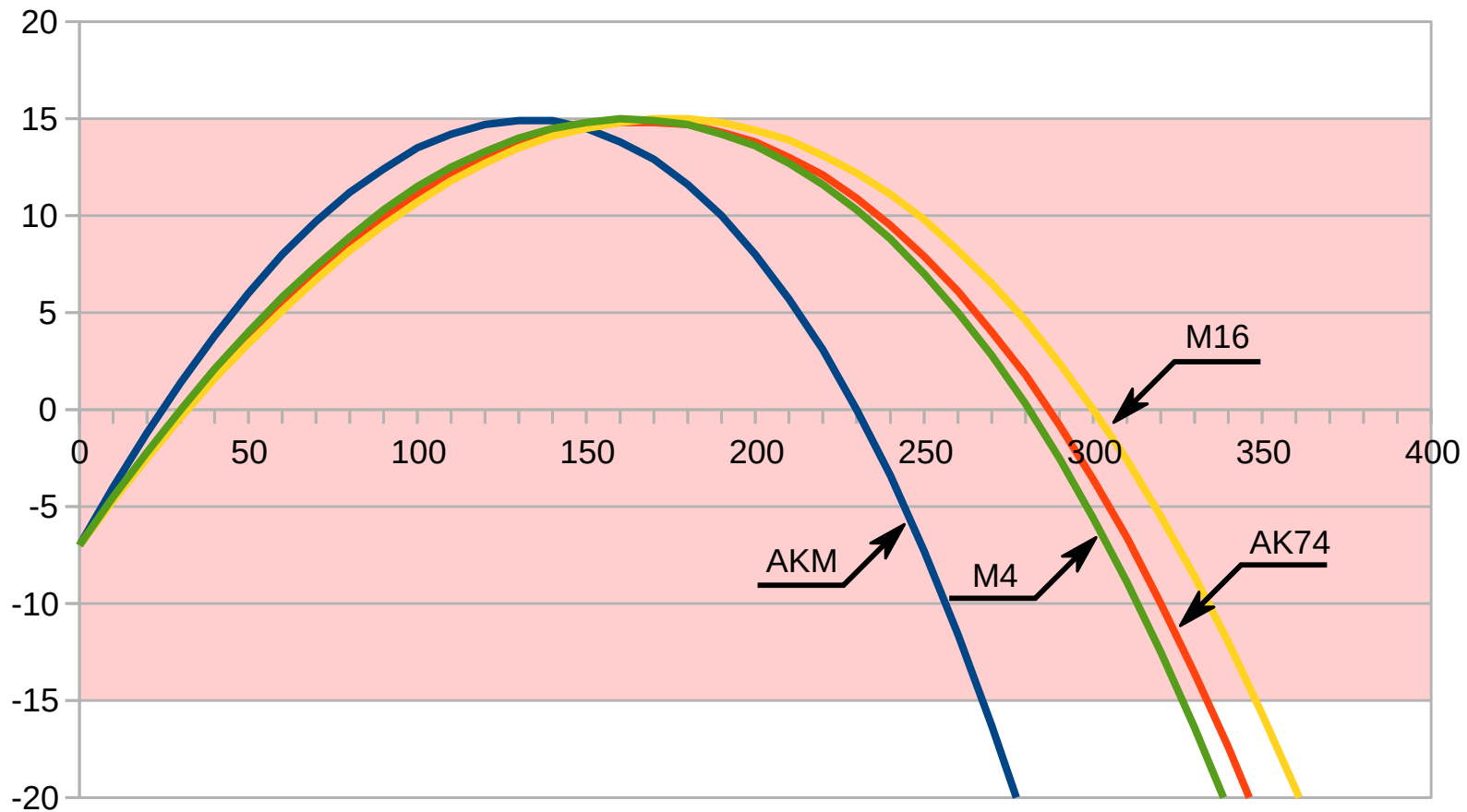


Élévation choisie de telle manière à que la trajectoire reste dans le gabarit vertical de la cible aussi loin que possible (le sommet de la trajectoire est le sommet du gabarit de la cible).

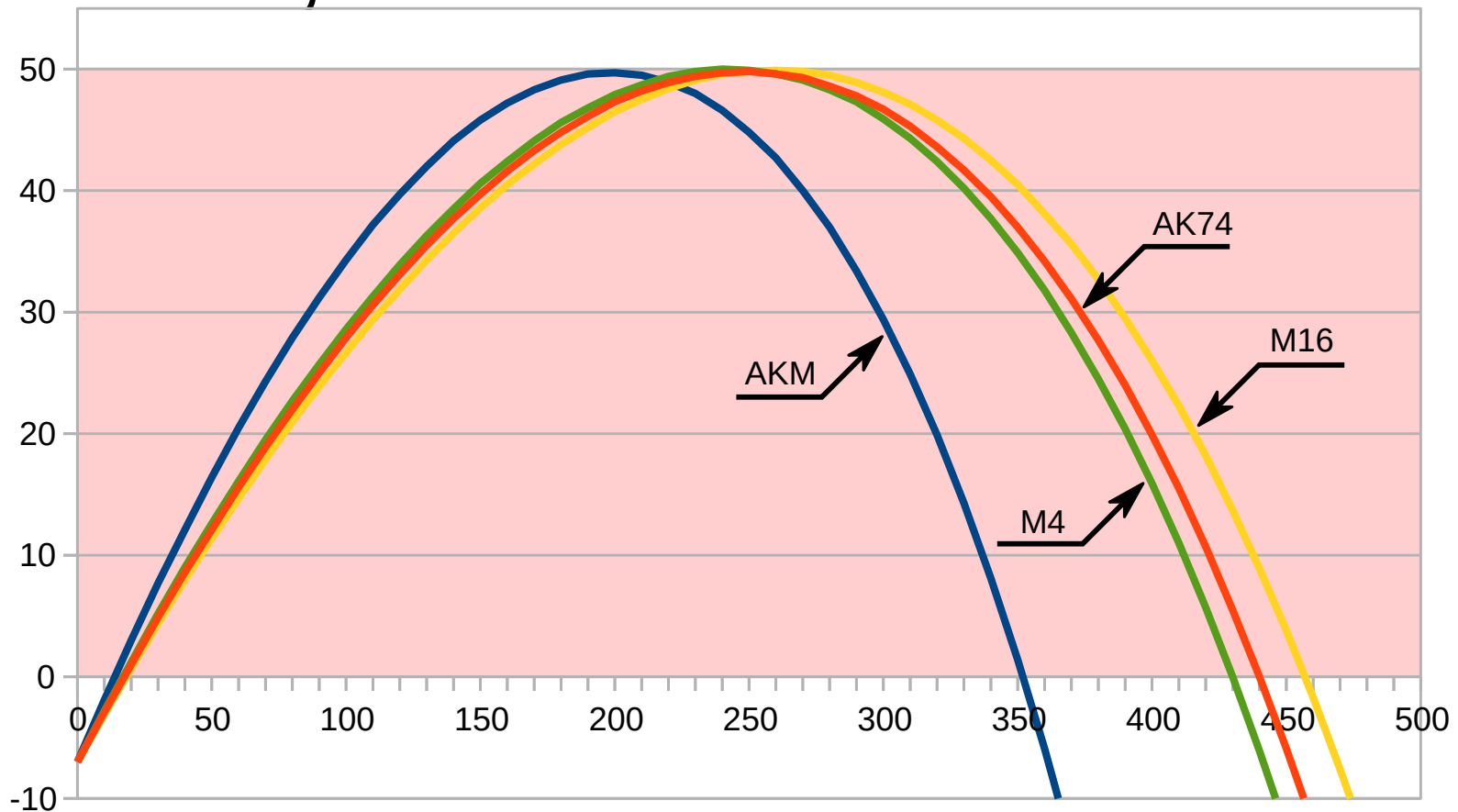
La DTD

- Dépend, bien évidemment, de la taille de la cible
- Cibles différentes pour les armées et les 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)

Tir direct, version "stars and stripes"



Tir direct, version "marteau-faucille"



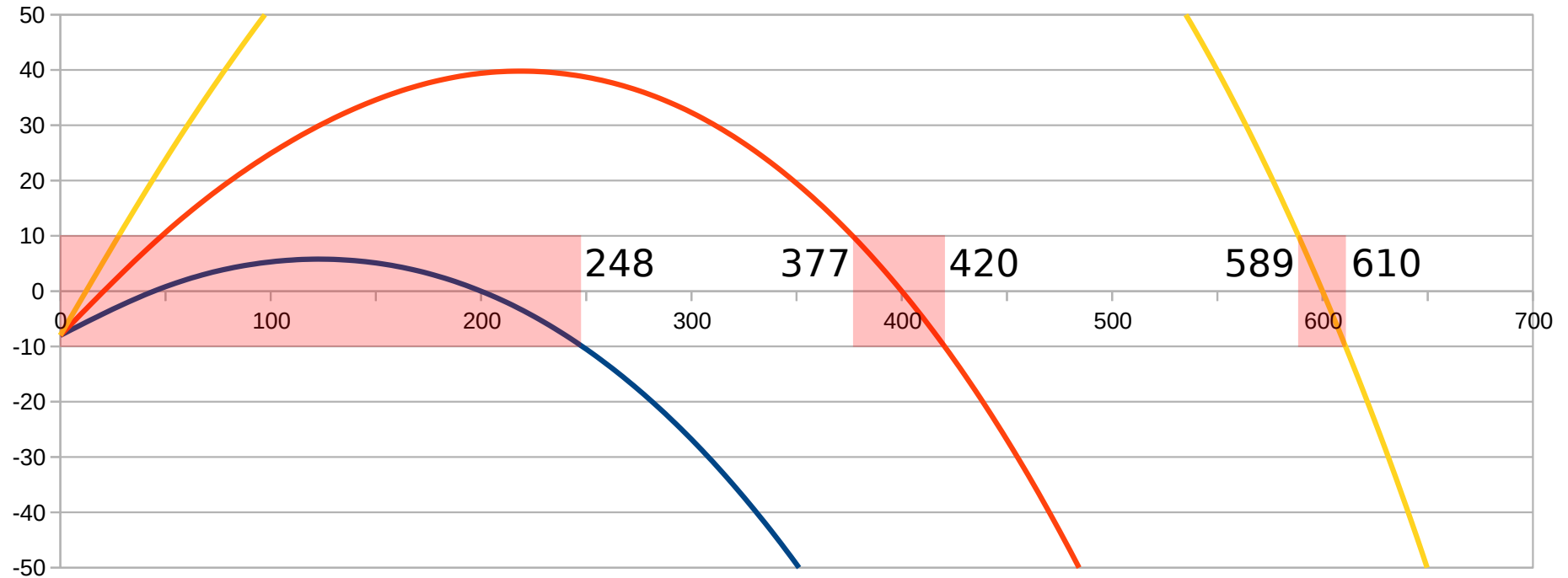
Un des points-clé du TLD : savoir quand ne pas le faire

- Le tir direct est plus rapide que le TLD
- Critères :
 - Balistique du calibre
 - Cible typique : tête ? torse ? debout ?
 - Comment estimer les distances correspondantes maximales
- Exemple K31 (zéro à 100 m) :
 - "tête", 20 cm = +9 clics (zéro \approx 235m, DTD \approx 275m)
 - "torse", 50 cm = +15 clics (zéro \approx 300m, DTD \approx 365m)
 - pt. visée = centre masse
 - distances = "si je peux le viser à l'œil nu"

Qui part à la chasse donne l'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, $V_0 = 790$ m/s
- Cible = cercle, diamètre = 20cm
- La calculette balistique nous dit DMTD = 278m, avec un zéro à 238m
- En comparaison, avec un zéro à 100m – DTD = 197m; au prix de 8 clicks on s'achète 81m d'insouciance en plus

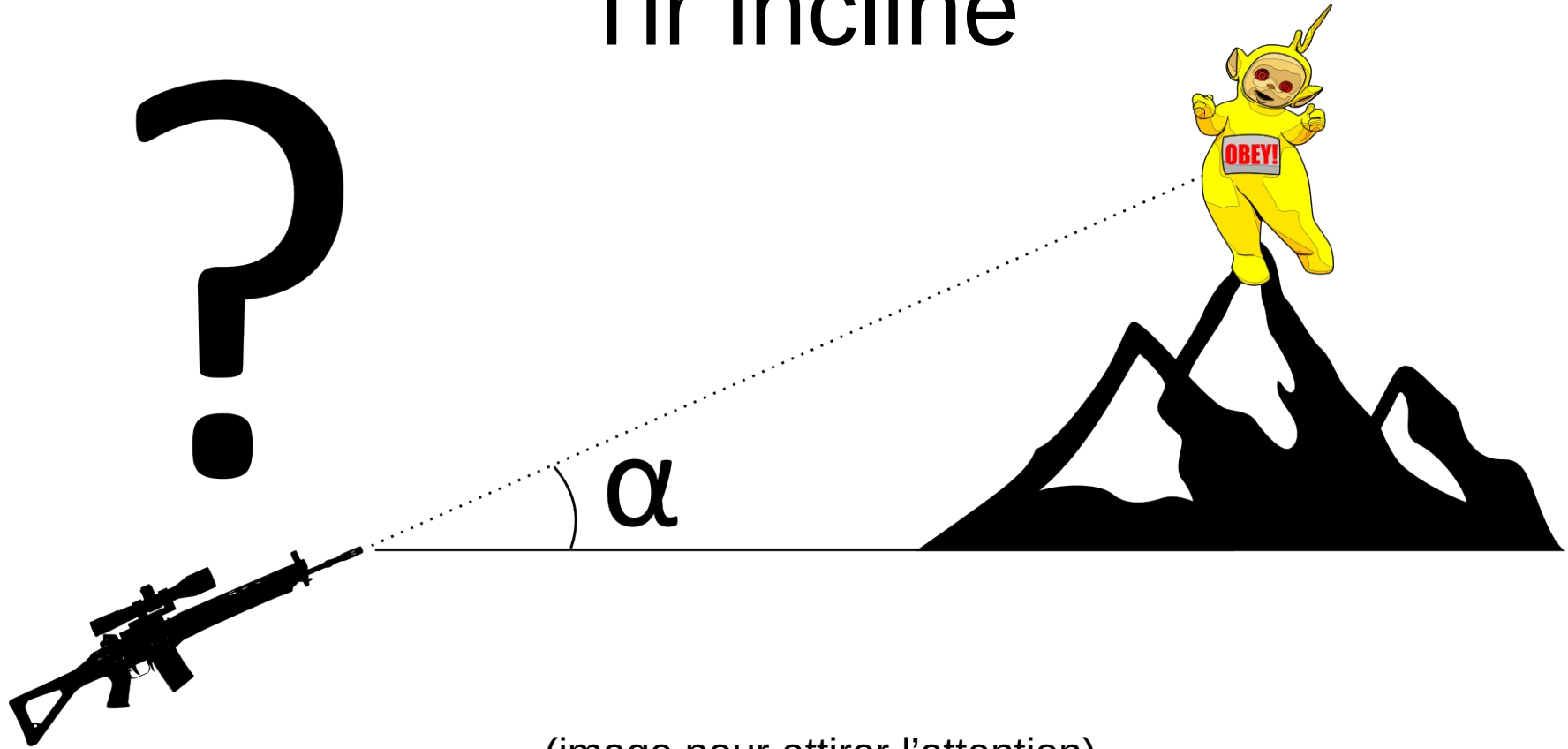
DTD = cas particulier de zone dangereuse





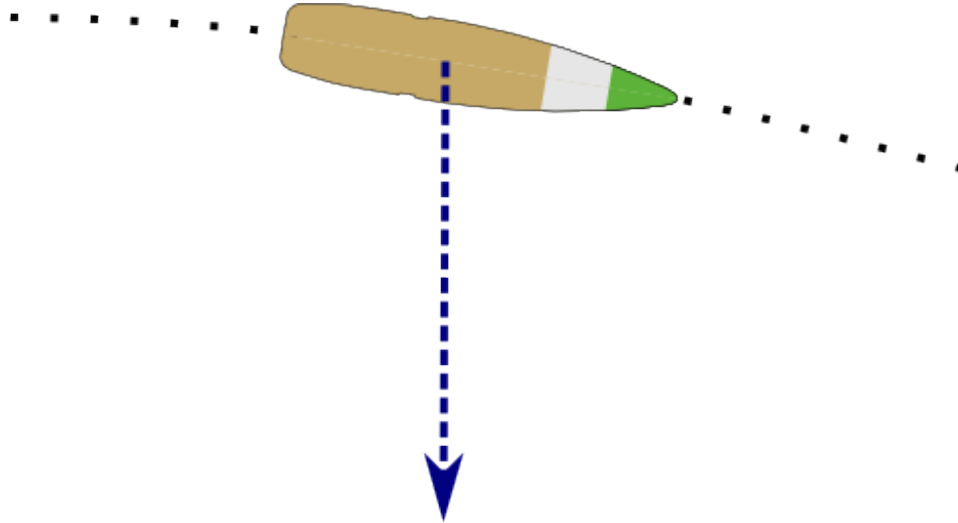
Plus grande est la distance de tir,
plus précisément il faut la connaître
pour toucher la cible.

Tir incliné



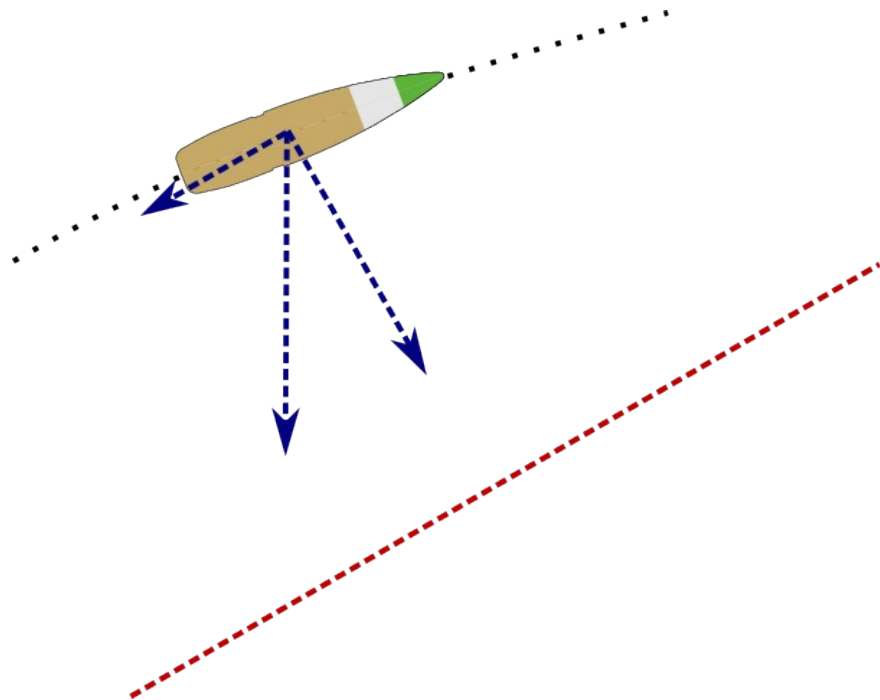
(image pour attirer l'attention)

Trajectoire à plat

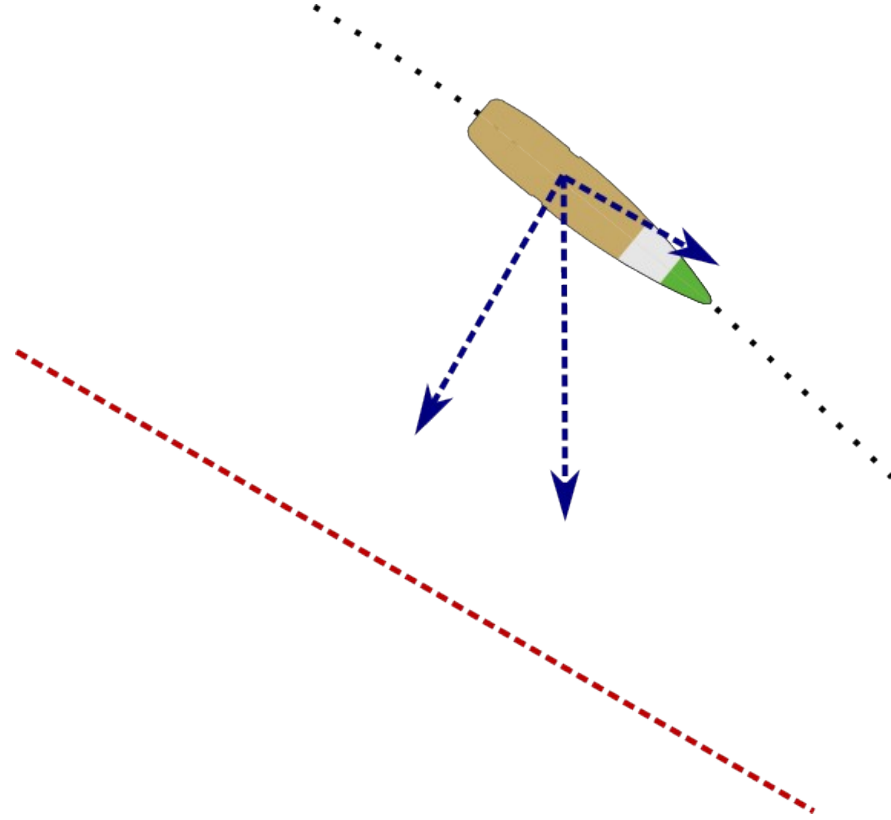


Une .50 Raufoss Mk 211 HEIAP sur son trajet canon -> télétubbie

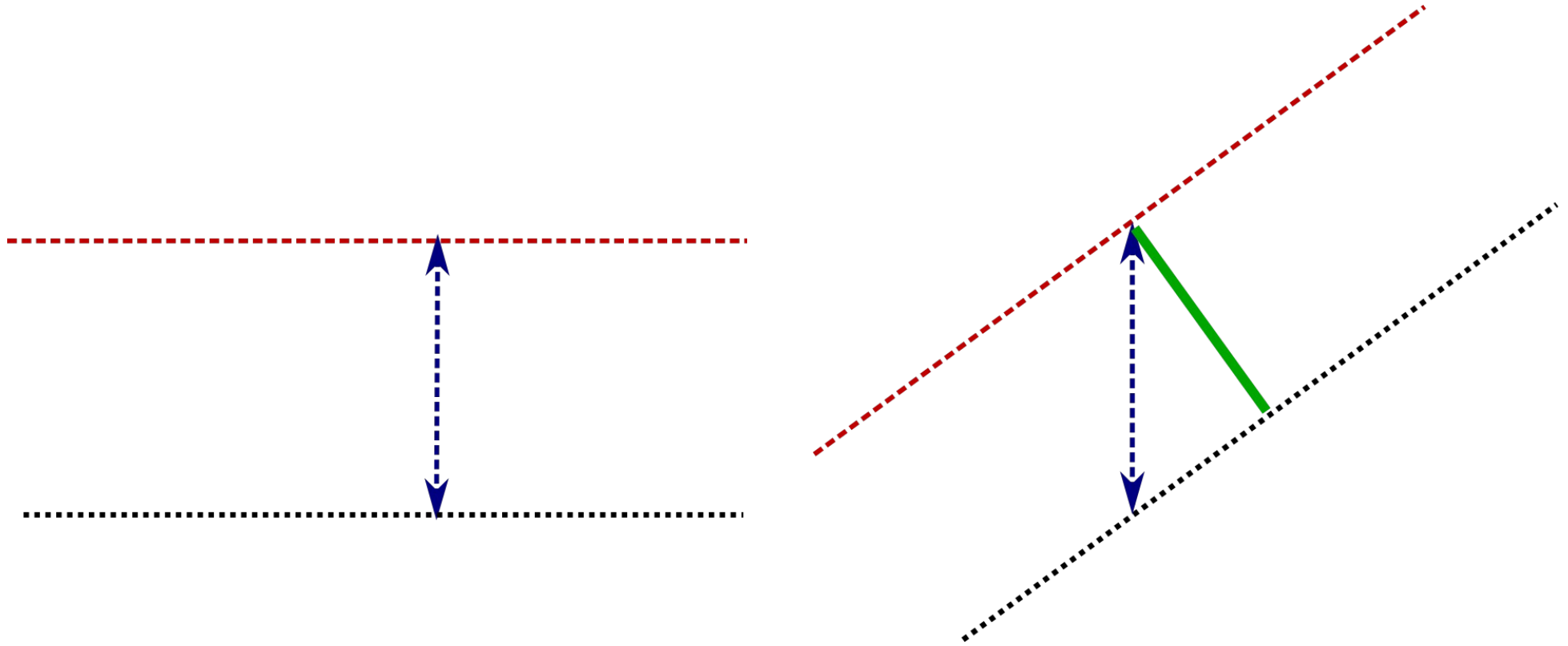
En pente / vers le haut



En pente / vers le bas



Ça tombe toujours la même chose
– juste qu'on le voie différemment



et tout de suite on passe au conclusions (des pdi à la pelle)

- Que l'inclinaison de la ligne de visée soit positive (vers le haut) ou négative (vers le bas) la balle va taper plus haut (par rapport à la ligne de visée) que lors du tir à plat à la même distance.
- La correction de visée à introduire pour un angle d'inclinaison donné est essentiellement la même, qu'on tire vers le haut ou vers le bas
 - quand on tire vers le haut, une partie de la force de gravité travaille contre la direction du vol du projectile, mais par rapport à la force de résistance de l'air, l'effet est assez marginal
 - cet effet est encore compensé par le fait que plus haut l'atmosphère est moins dense (p.ex. si on tire à $+30^\circ$ d'inclinaison à 1km, le but se trouve 500m plus haut que le tireur)
 - en définitive, la différence de corrections entre le tir vers le bas, et vers le haut, au même angle, est généralement inférieure à 1 ou 2 clics

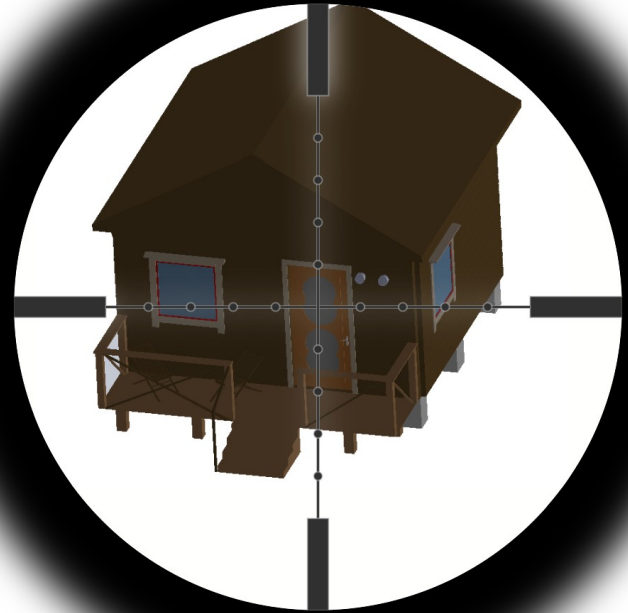
± le même angle

	±10°	±15°	±20°	±25°	±30°	±35°	±40°	±45°	±50°	±55°	±60°
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
650	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
700	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
750	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
800	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
850	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
900	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
950	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1000	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1

K31/GP11: différence, en clics de 0.1 mrad, de corrections entre le tir en contre-haut et en contrebas au même angle

Le mildot en pente

- Tir en pente à 30° d'inclinaison
- Dans le réticule on observe le rêve d'un sniper – un grand objet de taille connue
- Une porte de 2m de haut occupe 3 mrad dans le réticule
- La distance au but est donc de $1000 \times 2 / 3 = 666.66\text{m}$, n'est-ce pas?



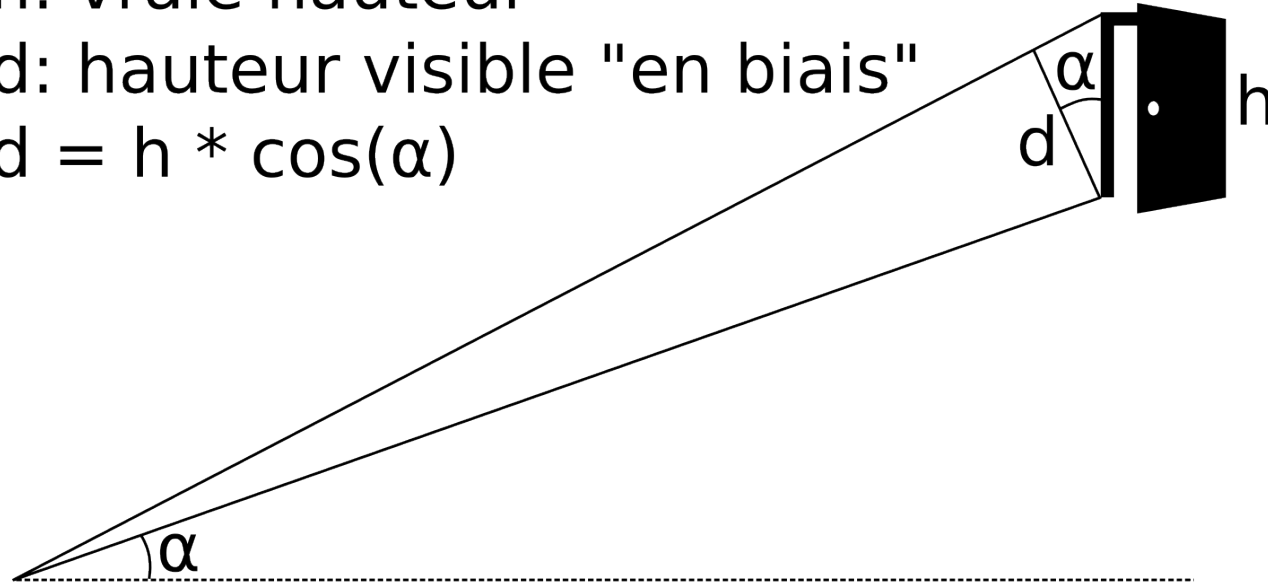
Le cosinus, quand tu nous tiens

α : angle de visée

h : vraie hauteur

d : hauteur visible "en biais"

$$d = h * \cos(\alpha)$$



ô, la porte lointaine !

- L'estimation de la distance dans l'exemple précédant est fausse
- La porte est vue *en biais* sous un angle de 30° , et prend moins de place dans le réticule que si on la voyait *de face*
- La vraie distance à la cible est plus petite: pour être dans le juste il faut multiplier par le cosinus de l'angle de visée
- Pour l'exemple précédant, la vraie distance est de $667 \times \cos(30^\circ) = 667 \times 0.866 = 577$ m (largement assez pour faire la différence entre un touché et un raté)



Mildot en pente: à retenir

- Lors de l'estimation de distance à l'aide d'un réticule stadimétrique (style Mildot), ne pas oublier qu'en pente on voit des cibles verticales en biais.

Pour en tenir compte, il faut multiplier le résultat obtenu "comme à plat" par le cosinus de l'angle de visée (comme la valeur du cosinus est ≤ 1 , la distance réelle obtenue sera plus petite).

- Jusqu'à 10° d'inclinaison – ce n'est généralement pas la peine; $\cos(10^\circ) = 0.985$, on ne va pas se prendre la tête pour 1.5% d'erreur.

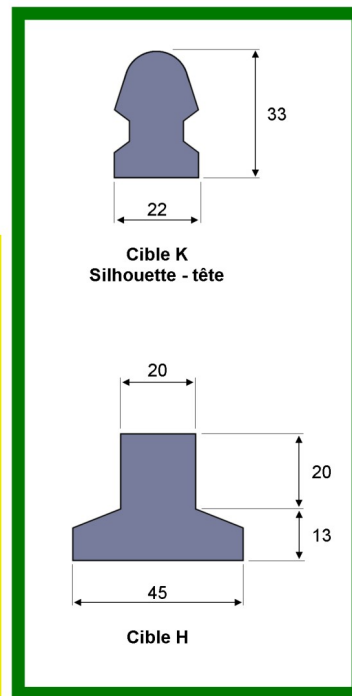
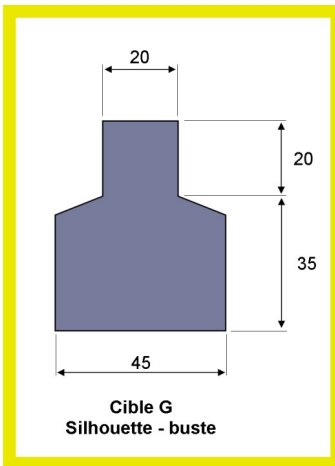
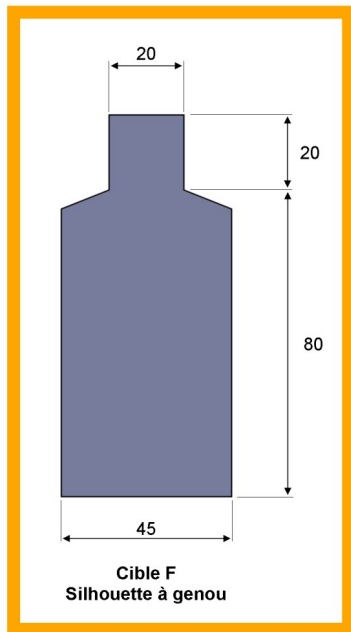
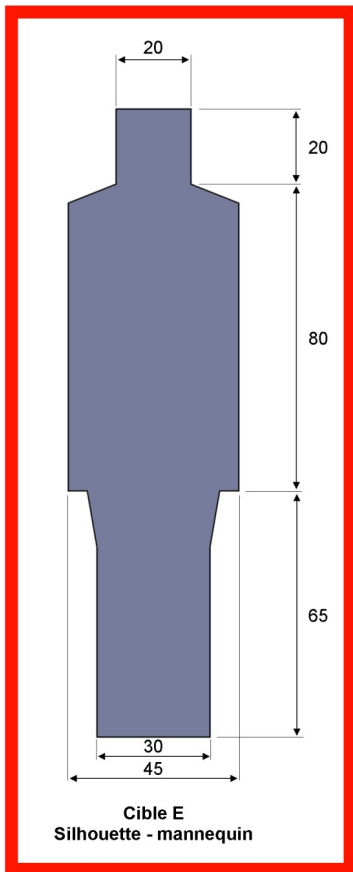
Angle, °	Cosinus
10	0.98
12	0.98
14	0.97
16	0.96
18	0.95
20	0.94
22	0.93
24	0.91
26	0.90
28	0.88
30	0.87
32	0.85
34	0.83
36	0.81
38	0.79
40	0.77
42	0.74
44	0.72
46	0.69
48	0.67
50	0.64
52	0.62
54	0.59
56	0.56
58	0.53
60	0.50

Perception des angles

- réalité 30° , perception = "très grand, peut-être 45° "
- réalité 45° , perception = "canon dans le ciel, j'en sais rien, probablement 60° "
- réalité 60° , perception = "presque à la verticale"
- les petits angles – au contraire; jusque à $\sim 15^\circ$ on aurait parfois tendance à ne pas y faire attention (erreur!)



Cibles de campagne



Couleurs dans les tableaux

- **Vert**: $< \pm 15$ cm = excellent (cibles K et H "tête")
- **Jaune**: $< \pm 30$ cm = bien (cible G "buste")
- **Orange**: $< \pm 50$ cm = ok (cible F, "à genou")
- **Rouge**: $< \pm 85$ cm = limite (cible E, "mannequin debout")
- **Noir**: $> \pm 85$ = raté

Sans tenir compte de l'inclinaison

(K31+GP11)

	10	15	20	25	30	35	40	45	55	60
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.4	-0.5	-0.8	-1.4	-2.0
100	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.6	-3.5	-6.3	-8.4
150	-0.3	-0.7	-1.3	-2.0	-3.0	-4.3	-5.9	-8.1	-14.5	-19.4
200	-0.5	-1.2	-2.2	-3.6	-5.4	-7.8	-10.8	-14.7	-26.3	-35.4
250	-0.9	-2.0	-3.6	-5.8	-8.8	-12.5	-17.4	-23.5	-42.2	-56.8
300	-1.3	-2.9	-5.3	-8.6	-12.9	-18.4	-25.6	-34.8	-62.4	-84.0
350	-1.7	-4.0	-7.4	-12.0	-18.0	-25.8	-35.6	-48.5	-87.2	-117.4
400	-2.2	-5.3	-9.8	-16.0	-24.0	-34.4	-47.6	-64.8	-116.8	-157.2
450	-2.9	-6.9	-12.8	-20.7	-31.2	-44.7	-62.0	-84.3	-151.9	-204.6
500	-3.8	-8.8	-16.2	-26.3	-39.6	-56.6	-78.7	-106.9	-192.7	-259.6
550	-4.7	-10.9	-20.1	-32.7	-49.2	-70.4	-97.9	-133.1	-239.9	-323.2
600	-5.6	-13.3	-24.5	-39.9	-60.2	-86.2	-119.7	-162.9	-293.8	-396.0
650	-6.7	-15.9	-29.6	-48.1	-72.5	-104.1	-144.6	-196.9	-355.1	-478.8
700	-8.0	-19.0	-35.3	-57.5	-86.7	-124.4	-173.0	-235.3	-424.7	-572.6
750	-9.4	-22.5	-41.6	-68.0	-102.5	-147.2	-204.7	-278.6	-503.2	-678.4
800	-11.0	-26.3	-48.8	-79.7	-120.3	-172.9	-240.3	-327.2	-591.2	-797.2
850	-12.7	-30.5	-56.8	-92.8	-140.2	-201.4	-280.3	-381.8	-690.1	-930.6
900	-14.6	-35.2	-65.7	-107.4	-162.4	-233.5	-324.9	-442.8	-800.4	-1079.8
950	-16.9	-40.6	-75.7	-123.8	-187.2	-269.3	-374.9	-511.0	-924.0	-1246.8
1000	-19.2	-46.4	-86.6	-141.9	-214.8	-309.1	-430.4	-586.9	-1061.8	-1432.8

"Rifleman's Rule" (La "règle du fantassin"?)

1. Mesurer l'inclinaison α ;
2. Mesurer la distance au but D (le long de la ligne de visée);
3. Calculer la distance horizontale équivalente (DHE), soit comme $D_e = D * \cos(\alpha)$, soit sur carte;
4. Introduire l'élévation comme si on tirait à la distance D_e .



Simple, ne dépend pas du fusil, facilement automatisable (intégré, p.ex., dans beaucoup de télémètres laser).



RR :: en tableau

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	-0.1	-0.2	-0.4	-0.7	-0.9	-1.3	-1.8	-2.7	-3.6	-4.9	-6.6
100	-0.1	-0.2	-0.4	-0.8	-1.2	-1.8	-2.7	-4.0	-5.4	-7.8	-11.0
150	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.7	-1.3	-2.1	-3.5	-5.6	-8.5	-13.0
200	0.3	0.3	0.5	0.6	0.5	0.2	-0.5	-1.7	-3.7	-6.8	-12.2
250	0.4	1.0	1.7	2.2	2.7	3.2	3.0	2.4	0.6	-2.6	-8.4
300	1.0	2.1	3.4	4.7	6.0	7.3	8.2	8.2	7.6	4.7	-1.0
350	1.8	3.0	5.4	7.5	10.2	13.1	15.1	16.8	17.4	15.5	10.0
400	2.7	4.9	8.4	11.9	16.1	20.6	24.7	28.3	29.9	29.6	25.4
450	3.1	7.0	11.9	17.4	23.7	30.2	36.8	42.1	46.5	48.1	45.2
500	4.6	9.9	16.3	23.4	32.1	42.1	50.9	60.2	67.2	71.8	70.6
550	6.3	12.4	21.7	31.8	43.4	56.5	69.2	82.2	92.6	99.9	101.6
600	8.5	16.5	28.2	41.7	57.2	73.9	91.2	107.5	122.7	133.9	139.0
650	9.5	21.5	35.9	52.4	73.6	94.5	117.5	138.9	159.2	175.2	183.8
700	12.5	25.7	45.0	66.5	91.3	119.0	147.0	176.1	201.8	222.8	236.6
750	15.9	32.5	56.0	83.3	114.2	147.8	183.3	217.9	250.2	278.4	298.4
800	20.1	40.7	68.6	101.0	141.0	181.7	226.0	268.6	308.3	344.9	370.4
850	22.4	47.7	83.6	123.9	170.2	221.2	273.5	325.6	375.9	420.0	453.4
900	27.8	58.9	101.2	150.8	206.7	267.1	330.9	393.7	454.0	507.0	549.4
950	34.3	71.8	121.7	182.4	249.2	320.6	397.5	472.6	543.9	608.8	659.6
1000	41.9	87.2	145.7	215.7	295.4	382.6	471.8	560.9	647.5	723.7	786.0

- Le modèle physique sous-jacent de RR suppose que la balle voyage dans le vide sans atmosphère
- Sur Terre, par contre, avec des armes légères supersoniques, ce n'est pas bien convaincant
- Dans les 30° – pas meilleur que sans correction du tout.
- Ok pour la chasse (max 300-400m) ce qui explique peut-être la popularité
- RR surestime généralement l'effet de l'inclinaison

RR :: en résumé

Précision:	médiocre (peu ou pas de valeur ajoutée dans les 30°)
Domaine d'application:	$\approx 500\text{m}$
Complexité:	simple, 1 opération trigonométrique + 1 opération arithmétique, ou mesure sur carte
Avantages:	simple, ne dépend pas d'arme ou de calibre
Inconvénients:	précision et applicabilité décevantes, limite inutile dans pas mal de circonstances
Conclusion:	c'est pas comme ça qu'on va gagner

Improved Rifleman's Rule (RR amélioré)

Un peu comme RR, sauf qu'on applique la correction (multiplication par le cosinus de l'angle) à l'élévation, et non pas à la distance

1. Mesurer l'inclinaison α ;
2. Mesurer la distance au but D (le long de la ligne de visée);
3. Trouver dans les tables balistiques le nombre de clics d'élévation pour la distance D pour le tir à l'horizontale;
4. Multiplier ce nombre de clics (et pas la distance D) par $\cos(\alpha)$.

IRR :: en tableau

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.9	3.9	5.2	7.0
50	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.4	-0.7
100	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.6	-3.5	-4.7	-6.3	-8.4
150	-0.3	-0.6	-1.1	-1.6	-2.5	-3.5	-4.9	-6.7	-9.1	-12.0	-16.1
200	-0.3	-0.8	-1.5	-2.4	-3.6	-5.3	-7.3	-9.9	-13.3	-17.7	-23.8
250	-0.5	-1.1	-2.0	-3.2	-4.9	-6.9	-9.6	-13.0	-17.5	-23.4	-31.5
300	-0.6	-1.3	-2.4	-4.0	-6.0	-8.5	-11.9	-16.2	-21.8	-29.1	-39.2
350	-0.6	-1.6	-2.9	-4.7	-7.1	-10.2	-14.1	-19.3	-25.9	-34.8	-46.9
400	-0.6	-1.6	-3.2	-5.4	-8.1	-11.7	-16.2	-22.1	-29.9	-40.3	-54.3
450	-0.7	-1.9	-3.6	-6.0	-9.1	-13.2	-18.4	-25.2	-34.0	-45.8	-61.9
500	-0.8	-2.1	-4.0	-6.6	-10.2	-14.6	-20.6	-28.0	-37.9	-51.1	-69.2
550	-0.9	-2.2	-4.3	-7.2	-11.0	-16.0	-22.6	-30.9	-41.8	-56.5	-76.5
600	-0.8	-2.2	-4.4	-7.7	-11.8	-17.2	-24.3	-33.6	-45.6	-61.6	-83.7
650	-0.7	-2.3	-4.7	-8.0	-12.5	-18.4	-26.1	-36.1	-49.1	-66.6	-90.7
700	-0.7	-2.3	-4.8	-8.4	-13.2	-19.5	-27.9	-38.5	-52.7	-71.5	-97.5
750	-0.6	-2.2	-4.8	-8.6	-13.7	-20.5	-29.3	-40.8	-56.0	-76.3	-104.2
800	-0.4	-2.1	-4.8	-8.7	-14.1	-21.3	-30.6	-42.8	-59.0	-80.7	-110.5
850	-0.1	-1.8	-4.6	-8.7	-14.3	-21.7	-31.7	-44.7	-61.9	-85.0	-116.7
900	0.1	-1.4	-4.2	-8.4	-14.3	-22.2	-32.5	-46.3	-64.3	-88.7	-122.5
950	0.4	-1.1	-3.9	-8.2	-14.1	-22.3	-33.3	-47.6	-66.7	-92.3	-128.1
1000	0.9	-0.5	-3.2	-7.5	-13.7	-22.1	-33.4	-48.5	-68.4	-95.4	-133.0

IRR: le prix à payer

- L'approche est dépendante de la balistique d'une arme spécifique; les calculs ne rentrent plus dans un télémètre universel.
- Par ailleurs, le modèle physique sous-jacent de IRR suppose que (1) la hauteur de l'axe de visée, (2) la distance de zéroage, et par conséquent (3) l'élévation initiale (angle de zéroage) sont toutes égales à zéro – bonjour le monde réel! (Par exemple, pour une arme zéroée [à plat] à 300m, IRR va toujours donner zéro correction pour 300m en incliné.)
- Les résultats (plus ou moins corrects) de la méthode dépendent donc de la hauteur de l'axe optique au-dessus de l'axe du canon, et de la distance de zéroage.

Le revers de l'IRR :: zéro à 300m?

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.9	3.9	5.2	7.0
50	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.4	-0.7
100	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.6	-3.5	-4.7	-6.3	-8.4
150	-0.3	-0.6	-1.1	-1.6	-2.5	-3.5	-4.9	-6.7	-9.1	-12.0	-16.1
200	-0.3	-0.8	-1.5	-2.4	-3.6	-5.3	-7.3	-9.9	-13.3	-17.7	-23.8
250	-0.5	-1.1	-2.0	-3.2	-4.9	-6.9	-9.6	-13.0	-17.5	-23.4	-31.5
300	-0.6	-1.3	-2.4	-4.0	-6.0	-8.5	-11.9	-16.2	-21.8	-29.1	-39.2
350	-0.6	-1.6	-2.9	-4.7	-7.1	-10.2	-14.1	-19.3	-25.9	-34.8	-46.9
400	-0.6	-1.6	-3.2	-5.4	-8.1	-11.7	-16.2	-22.1	-29.9	-40.3	-54.3
450	-0.7	-1.9	-3.6	-6.0	-9.1	-13.2	-18.4	-25.2	-34.0	-45.8	-61.9
500	-0.8	-2.1	-4.0	-6.6	-10.2	-14.6	-20.6	-28.0	-37.9	-51.1	-69.2
550	-0.9	-2.2	-4.3	-7.2	-11.0	-16.0	-22.6	-30.9	-41.8	-56.5	-76.5
600	-0.8	-2.2	-4.4	-7.7	-11.8	-17.2	-24.3	-33.6	-45.6	-61.6	-83.7
650	-0.7	-2.3	-4.7	-8.0	-12.5	-18.4	-26.1	-36.1	-49.1	-66.6	-90.7
700	-0.7	-2.3	-4.8	-8.4	-13.2	-19.5	-27.9	-38.5	-52.7	-71.5	-97.5
750	-0.6	-2.2	-4.8	-8.6	-13.7	-20.5	-29.3	-40.8	-56.0	-76.3	-104.2
800	-0.4	-2.1	-4.8	-8.7	-14.1	-21.3	-30.6	-42.8	-59.0	-80.7	-110.5
850	-0.1	-1.8	-4.6	-8.7	-14.3	-21.7	-31.7	-44.7	-61.9	-85.0	-116.7
900	0.1	-1.4	-4.2	-8.4	-14.3	-22.2	-32.5	-46.3	-64.3	-88.7	-122.5
950	0.4	-1.1	-3.9	-8.2	-14.1	-22.3	-33.3	-47.6	-66.7	-92.3	-128.1
1000	0.9	-0.5	-3.2	-7.5	-13.7	-22.1	-33.4	-48.5	-68.4	-95.4	-133.0

Zéro à 100 m
(déjà présenté)

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5	2.1	2.9	3.9	5.2	7.0
50	-0.2	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.5	-3.4	-4.5	-6.1	-8.1
100	-0.3	-0.8	-1.5	-2.4	-3.6	-5.1	-7.2	-9.7	-12.9	-17.4	-23.3
150	-0.6	-1.3	-2.4	-4.0	-6.0	-8.5	-11.7	-16.0	-21.3	-28.7	-38.5
200	-0.9	-1.9	-3.4	-5.5	-8.4	-11.8	-16.4	-22.2	-29.9	-40.0	-53.8
250	-1.1	-2.4	-4.4	-7.1	-10.6	-15.1	-21.0	-28.4	-38.2	-51.1	-68.8
300	-1.2	-2.9	-5.3	-8.6	-12.9	-18.4	-25.6	-34.6	-46.7	-62.4	-84.0
350	-1.5	-3.4	-6.3	-10.1	-15.2	-21.7	-30.2	-40.9	-55.0	-73.7	-99.1
400	-1.7	-3.9	-7.1	-11.6	-17.4	-25.0	-34.7	-47.1	-63.4	-84.8	-114.3
450	-1.9	-4.4	-8.0	-13.0	-19.6	-28.1	-39.0	-53.3	-71.6	-96.0	-129.2
500	-2.0	-4.7	-8.9	-14.4	-21.8	-31.2	-43.5	-59.2	-79.7	-106.9	-144.2
550	-2.1	-5.2	-9.7	-15.8	-23.8	-34.3	-47.8	-65.2	-87.7	-117.9	-159.0
600	-2.2	-5.5	-10.4	-17.0	-25.9	-37.4	-52.1	-71.1	-95.9	-128.8	-173.8
650	-2.4	-5.9	-11.1	-18.3	-27.9	-40.2	-56.2	-76.8	-103.7	-139.5	-188.6
700	-2.4	-6.1	-11.7	-19.4	-29.6	-42.9	-60.2	-82.4	-111.4	-150.1	-203.0
750	-2.4	-6.4	-12.3	-20.5	-31.5	-45.6	-64.0	-88.0	-119.1	-160.5	-217.3
800	-2.3	-6.5	-12.7	-21.3	-33.0	-48.1	-67.7	-93.1	-126.4	-170.7	-231.5
850	-2.3	-6.6	-13.2	-22.3	-34.6	-50.6	-71.3	-98.4	-133.7	-180.8	-245.5
900	-2.2	-6.6	-13.4	-23.0	-35.8	-52.8	-74.7	-103.3	-140.6	-190.6	-259.1
950	-2.0	-6.4	-13.5	-23.5	-36.9	-54.6	-77.7	-107.7	-147.2	-200.0	-272.3
1000	-1.7	-6.2	-13.4	-23.8	-37.8	-56.3	-80.6	-112.1	-153.5	-209.0	-285.4

Zéro à 300m

IRR vs. entre-axe

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1	1.5	2.1	2.8	3.7	5.0
50	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.7	-0.9	-1.2	-1.7
100	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.6	-3.5	-4.7	-6.3	-8.4
150	-0.2	-0.6	-1.0	-1.5	-2.3	-3.3	-4.6	-6.3	-8.3	-11.3	-15.1
200	-0.3	-0.8	-1.4	-2.2	-3.3	-4.8	-6.7	-9.1	-12.2	-16.2	-21.8
250	-0.5	-1.0	-1.8	-2.9	-4.4	-6.2	-8.7	-11.8	-15.9	-21.2	-28.5
300	-0.6	-1.2	-2.2	-3.6	-5.4	-7.7	-10.7	-14.6	-19.6	-26.1	-35.2
350	-0.6	-1.4	-2.6	-4.2	-6.3	-9.1	-12.6	-17.1	-23.1	-31.0	-41.9
400	-0.6	-1.4	-2.8	-4.6	-7.2	-10.3	-14.4	-19.7	-26.6	-35.7	-48.3
450	-0.6	-1.7	-3.2	-5.3	-8.0	-11.6	-16.3	-22.3	-30.1	-40.6	-54.7
500	-0.7	-1.8	-3.4	-5.8	-8.8	-12.8	-18.0	-24.7	-33.5	-45.2	-61.2
550	-0.7	-1.9	-3.7	-6.2	-9.6	-14.0	-19.7	-27.2	-36.8	-49.6	-67.3
600	-0.6	-1.9	-3.8	-6.5	-10.2	-15.0	-21.3	-29.3	-39.9	-54.0	-73.5
650	-0.5	-1.9	-3.9	-6.8	-10.8	-15.9	-22.6	-31.4	-43.0	-58.3	-79.5
700	-0.5	-1.9	-4.0	-7.1	-11.2	-16.9	-24.1	-33.4	-45.9	-62.4	-85.3
750	-0.4	-1.6	-3.9	-7.2	-11.6	-17.5	-25.2	-35.2	-48.6	-66.4	-90.8
800	-0.2	-1.5	-3.8	-7.1	-11.8	-18.0	-26.2	-36.9	-51.0	-70.1	-96.3
850	0.1	-1.2	-3.5	-7.0	-11.8	-18.3	-27.0	-38.2	-53.2	-73.5	-101.3
900	0.4	-0.8	-3.1	-6.6	-11.7	-18.4	-27.4	-39.4	-55.3	-76.5	-106.1
950	0.8	-0.4	-2.7	-6.3	-11.4	-18.4	-27.8	-40.3	-57.0	-79.3	-110.5
1000	1.2	0.2	-1.9	-5.6	-10.8	-17.9	-27.7	-40.8	-58.1	-81.7	-114.4

50 mm

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0.1	0.3	0.6	0.9	1.4	2.0	2.7	3.7	5.0	6.7	9.0
50	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3
100	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.3	-1.8	-2.6	-3.5	-4.7	-6.3	-8.4
150	-0.3	-0.6	-1.1	-1.7	-2.6	-3.8	-5.2	-7.1	-9.6	-12.8	-17.1
200	-0.4	-0.9	-1.6	-2.6	-3.9	-5.7	-7.9	-10.7	-14.4	-19.2	-25.8
250	-0.6	-1.2	-2.2	-3.5	-5.3	-7.7	-10.6	-14.2	-19.2	-25.8	-34.7
300	-0.7	-1.5	-2.7	-4.4	-6.6	-9.5	-13.1	-17.9	-24.0	-32.1	-43.4
350	-0.7	-1.7	-3.2	-5.3	-7.9	-11.3	-15.6	-21.4	-28.8	-38.5	-51.9
400	-0.7	-2.0	-3.6	-6.0	-9.0	-13.0	-18.2	-24.8	-33.3	-44.8	-60.3
450	-0.9	-2.1	-4.1	-6.7	-10.2	-14.7	-20.6	-28.1	-38.0	-51.0	-68.9
500	-0.9	-2.4	-4.5	-7.4	-11.4	-16.5	-23.0	-31.5	-42.5	-57.2	-77.2
550	-1.0	-2.5	-4.9	-8.1	-12.4	-18.1	-25.3	-34.6	-47.0	-63.2	-85.7
600	-0.9	-2.6	-5.2	-8.7	-13.4	-19.6	-27.5	-37.7	-51.2	-69.2	-93.7
650	-0.9	-2.6	-5.4	-9.2	-14.3	-20.9	-29.6	-40.8	-55.4	-75.0	-101.7
700	-0.9	-2.7	-5.6	-9.7	-15.1	-22.3	-31.5	-43.6	-59.5	-80.6	-109.7
750	-0.8	-2.7	-5.7	-10.0	-15.7	-23.4	-33.3	-46.3	-63.4	-86.1	-117.4
800	-0.7	-2.6	-5.7	-10.2	-16.4	-24.5	-35.0	-48.7	-67.1	-91.3	-124.7
850	-0.5	-2.4	-5.6	-10.3	-16.7	-25.2	-36.4	-51.1	-70.4	-96.3	-131.9
900	-0.1	-2.1	-5.4	-10.2	-16.8	-25.8	-37.6	-53.0	-73.5	-101.0	-138.9
950	0.1	-1.7	-5.1	-10.0	-17.0	-26.3	-38.6	-54.9	-76.5	-105.3	-145.5
1000	0.6	-1.2	-4.5	-9.5	-16.7	-26.4	-39.2	-56.2	-78.8	-109.3	-151.6

90 mm

IRR :: en résumé

Précision:	bonne (pour un zéro tage à 100m avec des hauteurs de l'axe de visée sous les 90 mm)
Domaine d'application:	jusque à 30° – toutes les distances; au-delà des 30° – ~800m, éventuellement en contre-visant "plus bas"
Complexité:	simple, 1 opération trigonométrique, 1 opération arithmétique
Avantages:	simplicité, bonne précision
Inconvénients:	dépend de la distance de zéro tage; plus le deuxième zéro est loin, moins la méthode est précise dépend de la hauteur de l'axe de visée; plus elle est grande, moins la méthode est précise
Conclusion:	les télétubbies reçoivent un peu de miséricorde

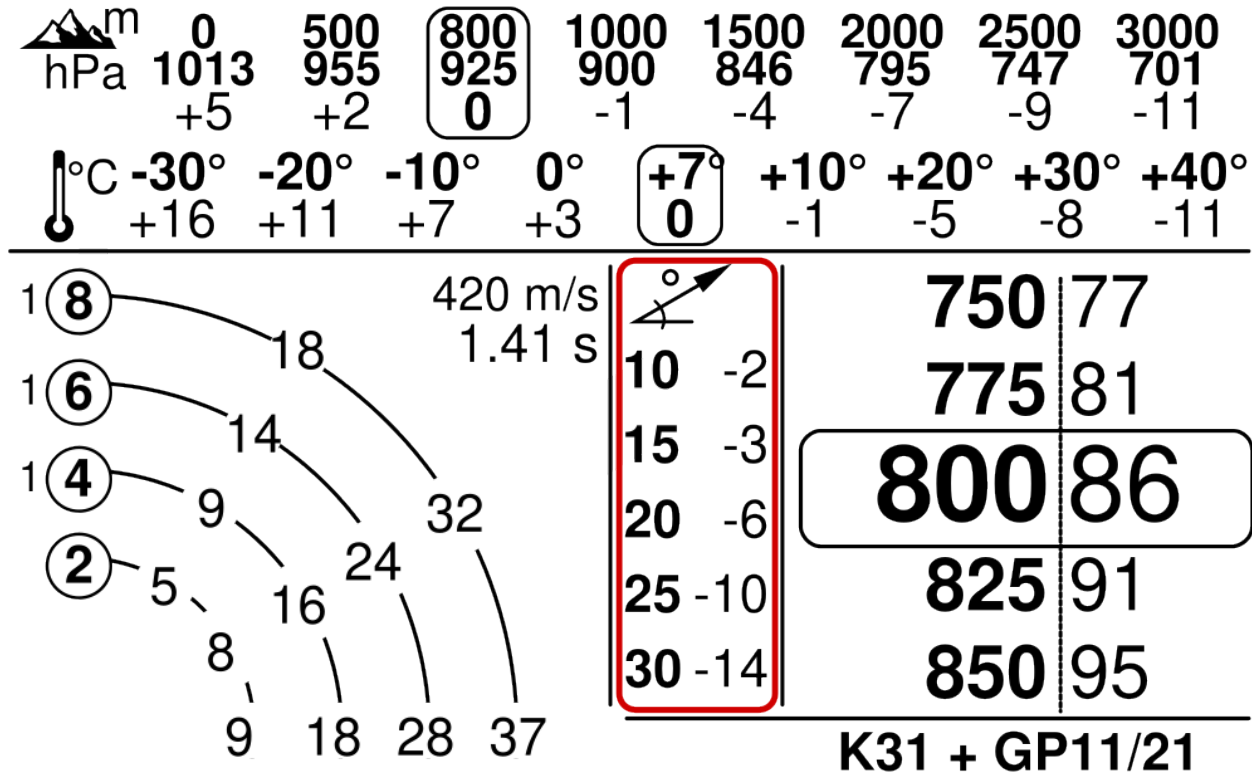
D'autres méthodes

- Méthode tirée du livre "De 1 à 1000" par PP – ne correspond à aucune réalité physique, ne marche pas (je n'arrive pas à comprendre comment cette méthode s'est retrouvée dans un des meilleurs manuels TLD qu'il m'est arrivé de lire)
- Sierra's – über-précise, mais en pratique – beaucoup trop complexe pour être utile sur le terrain

En pratique :: les conditions-cadre

1. Une calculatrice électronique est généralement nécessaire pour toute opération plus complexe que l'addition ou la soustraction de nombres à deux chiffres;
2. Si une calculatrice électronique est nécessaire de toute manière, on a meilleur temps de prendre une calculatrice balistique, et ne pas se prendre la tête avec des estimations;
3. Les méthodes estimatives ont donc du sens seulement en version "low-tech", sans piles, et sans opérations mathématiques complexes.

Option 0 :: direct dans les tables



Mesurer les angles



ADI
(Angle Degree Indicator)

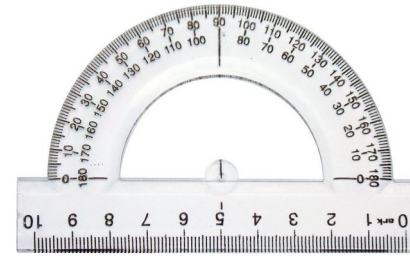


Compass militaire
(oui, il sait faire ça)



Télémètre (certains
modèles ont cette fonction)

ATTENTION !
ACI (Angle *Cosine* Indicator)
fausse bonne idée



Un rapporteur d'école + un bout de ficelle
(marche aussi, mais un peu moins chic)