

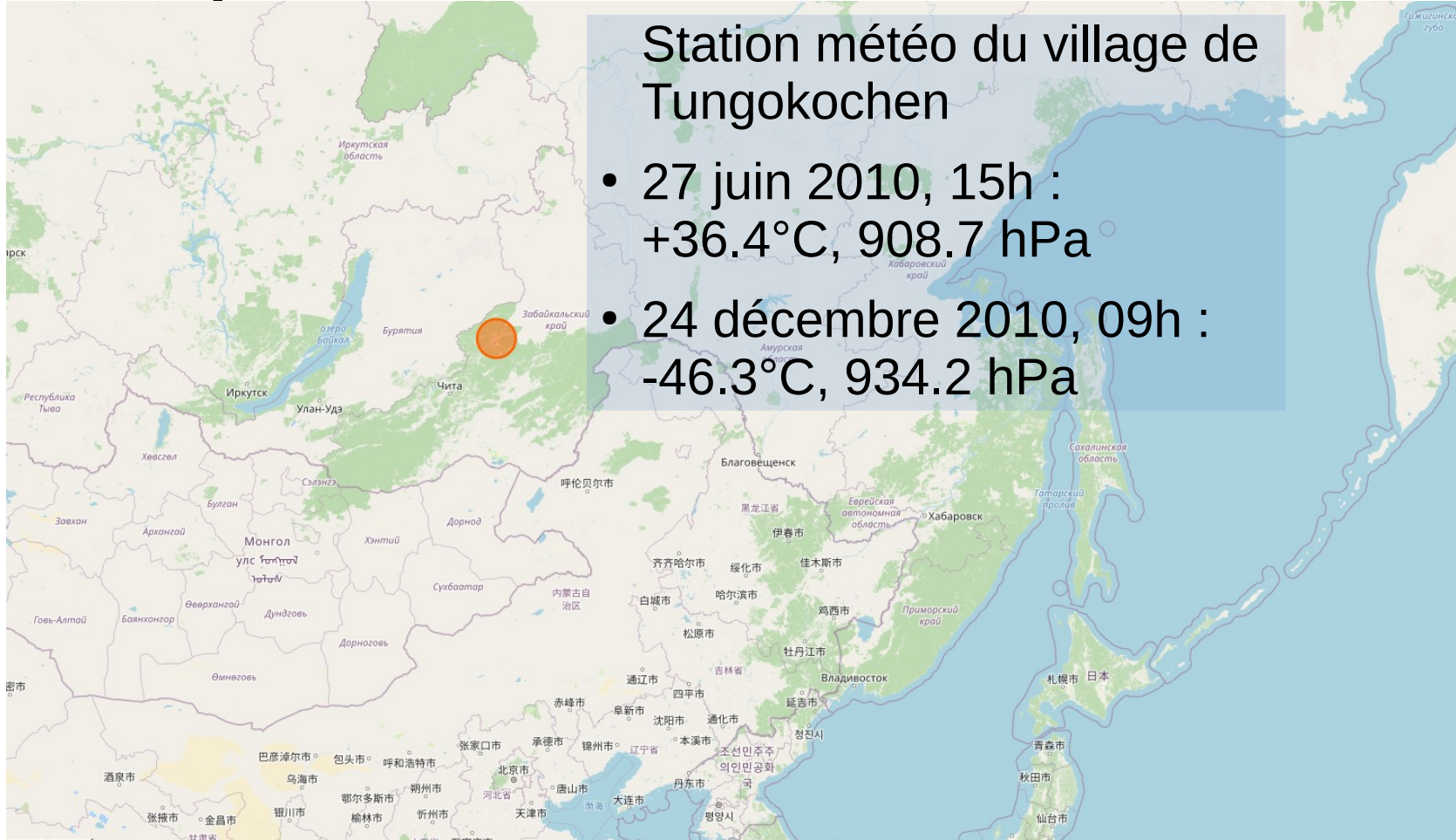
# Chapitre 4

## L'atmosphère

# Intermezzo : source de données

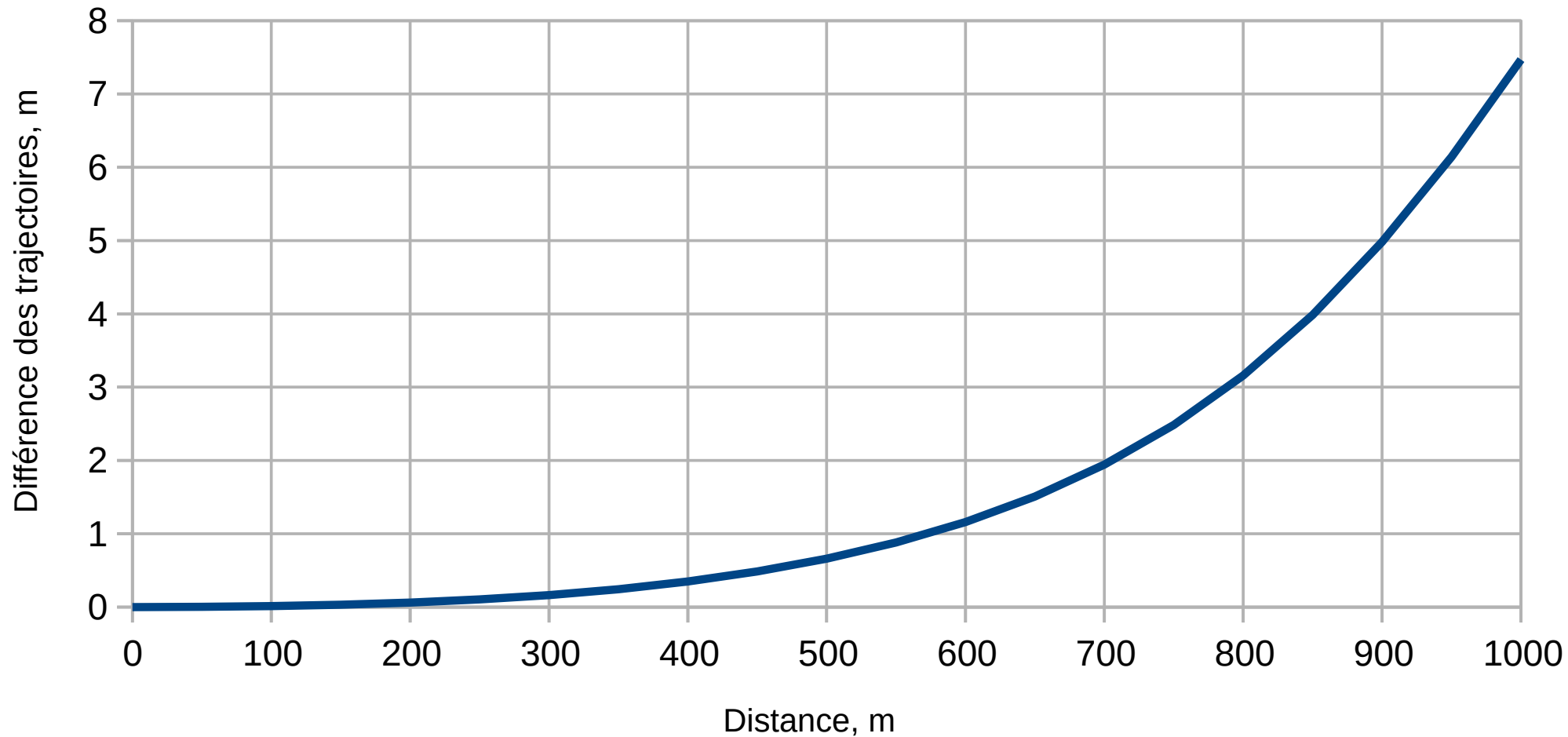
- Administration nationale des affaires océaniques et atmosphériques des États-Unis (NOAA), publiées dans le cadre du projet Integrated Surface Database (ISD) : <https://www.ncdc.noaa.gov/isd>
- Premières données : 1901
- Aujourd'hui : > 14'000 stations dans le monde entier, plusieurs fois par jour
- Pour ce chapitre: analyse de 10 ans de mesures – 2009-2018 – 300GB de données

# Exemple extrême : la Transbaïkalie



# La Transbaïkalie en hiver et en été

(au Mosin-Nagant 1891/30, cart. 1908/30)





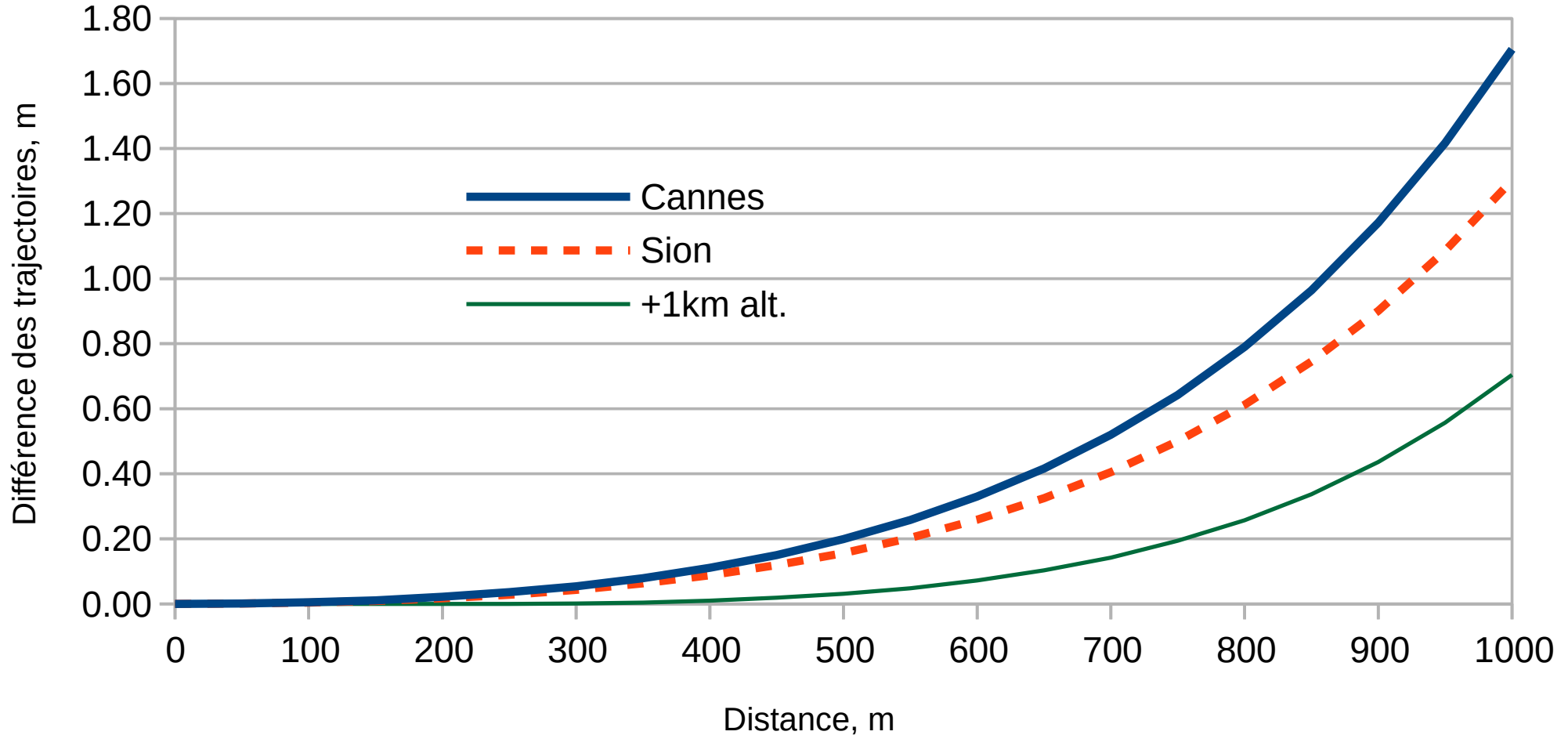
- L'influence des facteurs atmosphériques, peu significative jusqu'à 200 m, augmente considérablement avec la distance. En d'autres termes, plus on tire loin, mieux on doit connaître les conditions atmosphériques et en tenir compte.
- Si l'on ne tient pas compte de l'atmosphère, il est possible, dans certains cas, de rater la cible "torse" déjà à une distance de 400 m, et sortir de la zone mortelle de gros gibier à 300 m.

# Exemples moins extrêmes

- Sion/VS, 23 février 2017
  - 06h00 : +0,5°C, 959,8 hPa.
  - 16h00 : 20,5°C, 949,9 hPa
- Cannes, 23 février 2012
  - 07h00 : -3,6°C, 1013,6 hPa
  - 15h00 : +21,6°C, 1011,7 hPa

# Du matin au soir

(au Mousqueton 31 + GP11)





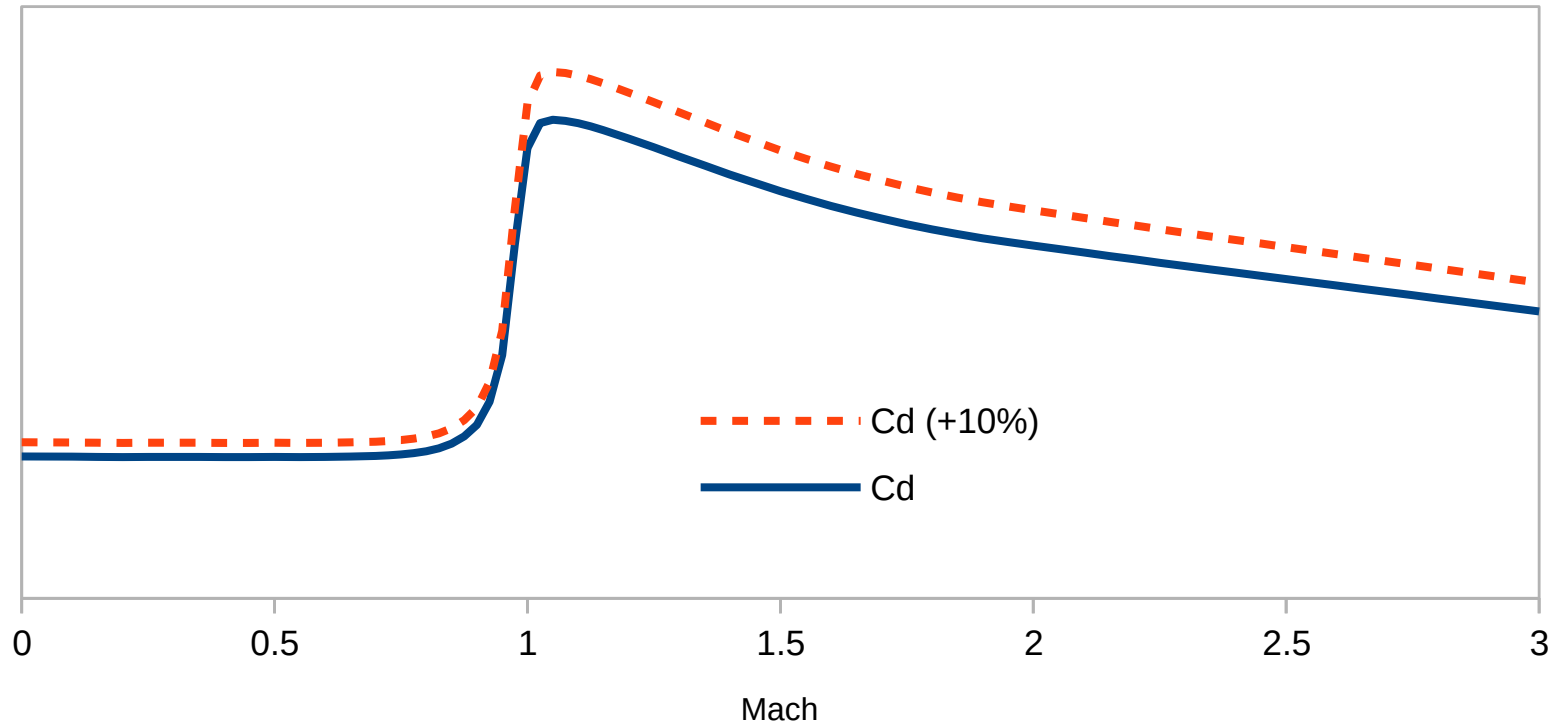
# Les conclusions s'imposent

- Même dans les climats relativement cléments, il est impératif de prendre en compte l'atmo. L'erreur peut devenir importante à moyenne distance, et à longue distance, ne pas tenir compte des conditions atmosphériques = raté garanti.
- Un simple changement de temps au cours d'une même journée et au même endroit peut avoir plus d'effet sur la trajectoire que 1000m de dénivelée en montagne.



# Que se passe-t-il ? (la Science contre-attaque)

Coefficient de traînée ( $C_d$ ), densité de l'air +10%



# La densité de l'air

- Est impossible à mesurer directement (en dehors des conditions de laboratoire)
- Mais :
  - est directement proportionnelle à la pression
  - est inversement proportionnelle à la température

$$\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} \sim \frac{p}{T}$$

Densité de l'air sec, où  $p$  est la pression,  $T$  est la température (en Kelvin), et  $M$  et  $R$  sont des constantes ( $M \approx 29$  g/mol, la masse molaire moyenne de l'air sec, et  $R = 8,31446261815324$  J/(mol·K), la constante universelle des gaz). La formule est donnée uniquement pour embrouiller et intimider l'audience ; il est totalement inutile de la connaître pour comprendre ce qui suit.

# Pression vs. densité

- À l'intérieur d'une bouteille d'air comprimé
- Pression – 100 atm
- Quantité de l'air – 100x plus
- Densité – 100x plus grande



# Température vs. densité

- A l'intérieur d'une montgolfière
- Pression interne = pression externe
- Température – plus grande
- Densité – plus petite



# Qu'en est-il de l'humidité ?

- Air humide = air sec + la vapeur d'eau
- Densité totale =  $D_a + D_v$
- La vapeur est moins dense, l'air humide est plus léger (les nuages volent dans le ciel)
- La quantité maximale de vapeurs d'eau dans l'air est limitée (humidité 100%) – au-delà ça condense en gouttes/flocons



# Question humide : la réponse définitive

- La différence de densité de l'air entre 0 et 100 % d'humidité se mesure en fractions de pourcent
- En pratique, pour un Mq.31 à 800 m – 2.5 cm de différence de trajectoire

Pour la grande majorité des applications pratiques de tir, l'effet de l'humidité de l'air sur la trajectoire des balles peut être négligé. Si l'occasion, le temps et le besoin existent (applications de niche telles que p.ex. les compétitions de classe F) et lorsque tout le reste a été pris en compte avec précision, l'humidité peut également être prise en compte, mais en l'absence d'un hygromètre de poche ou pour les tables/abaques balistiques – utiliser l'humidité relative de 50% comme valeur de travail et vivre avec l'erreur.

# Pression : unités

- Le Système international d'unités (SI) : unité de pression = le Pascal (Pa).
- Pour la pression atmosphérique – hectopascals (hPa) = centaines de Pa
- La pression atmosphérique standard au niveau de la mer : 101325 Pa = 1013,25 hPa.
- Industrie : l'unité bar ; 1 bar = 100000 Pa = environ une atmosphère.
- **1 millibar (mbar) = 1/1000 bar = 1 hPa – l'unité à utiliser**
- Pour sortir de l'archaïque : 1 mm Hg = 133,322 Pa = 1,33322 hPa

# L'atmosphère standard

- « ISA » (International Standard Atmosphere) = modèle atmosphérique
- ISO, OMM, ICAO, US std. 1976, GOST = la même chose, jusque à alt. 11 km
- 2 choses :
  - Conditions (hypothétiques) "moyennes" pour une altitude donnée, p.ex. 1013,25 hPa, 15°C au niveau de la mer.
  - Les formules par lesquelles la pression et la température changent avec l'altitude
- Le modèle standard ne tient pas compte de l'humidité, l'air est supposé être absolument sec.





# La pression réduite au niveau de la mer = "NOT GOOD", (C) D. Trump

- Pour les besoin de tir, n'utilisez que la pression atmosphérique réelle mesurée sur site. N'utilisez pas la pression "réduite au niveau de la mer".
- Si une station météorologique affiche deux chiffres différents de pression atmosphérique, choisissez le plus petit (à moins de faire du TLD sur les rives de la Mer Morte).
- De même, si à une altitude de 500 m ou plus, vous lisez un chiffre de pression atmosphérique supérieur à 1000 hPa, soit ce n'est pas le bon chiffre ("réduit" au lieu du réel), soit la fin du monde est encore plus proche que nous le pensions.

# Les mesures de la pression : comment vivre avec



# Pression de poche : mesures concurrentes

- Pression atmosphérique réelle: 959,4 hPa
- Pacotille mécanique : 980 hPa  
erreur = 20.6 hPa
- Chinoiserie électronique : 962.1 hPa  
erreur = 2.7 hPa
- Kestrel : 957.0 hPa  
erreur = 2.4 hPa



# Pression de poche : pratique

- La précision des baromètres **électroniques** intégrés dans les stations météo de poche est **largement suffisante pour les applications de tir**. Une excellente précision ne coûte pas forcément cher ; l'argent supplémentaire achète généralement de la fiabilité et de la résistance aux phénomènes atmosphériques hostiles (eau, givre, gel, chaleur).
- Les baromètres **mécaniques** de tourisme bon marché, malgré leurs avantages évidents (indépendance de l'alimentation électrique), ne sont généralement **pas très précis**. Il ne faut pas s'attendre à grand chose ; on peut juste dire qu'ils sont "mieux que rien", c'est tout.

# Les mesures de la pression : comment vivre sans

Dans l'absence d'un baromètre, déterminer l'altitude de la place de tir ; 2 méthodes :

- Navigation satellite
  - précision  $\pm 15$  m
  - laisser allumé pendant 2 minutes
- Cartes topographiques
  - 1:100'000 suffit pour la plaine
  - 1:25'000 (ou plus détaillé) – pour la montagne

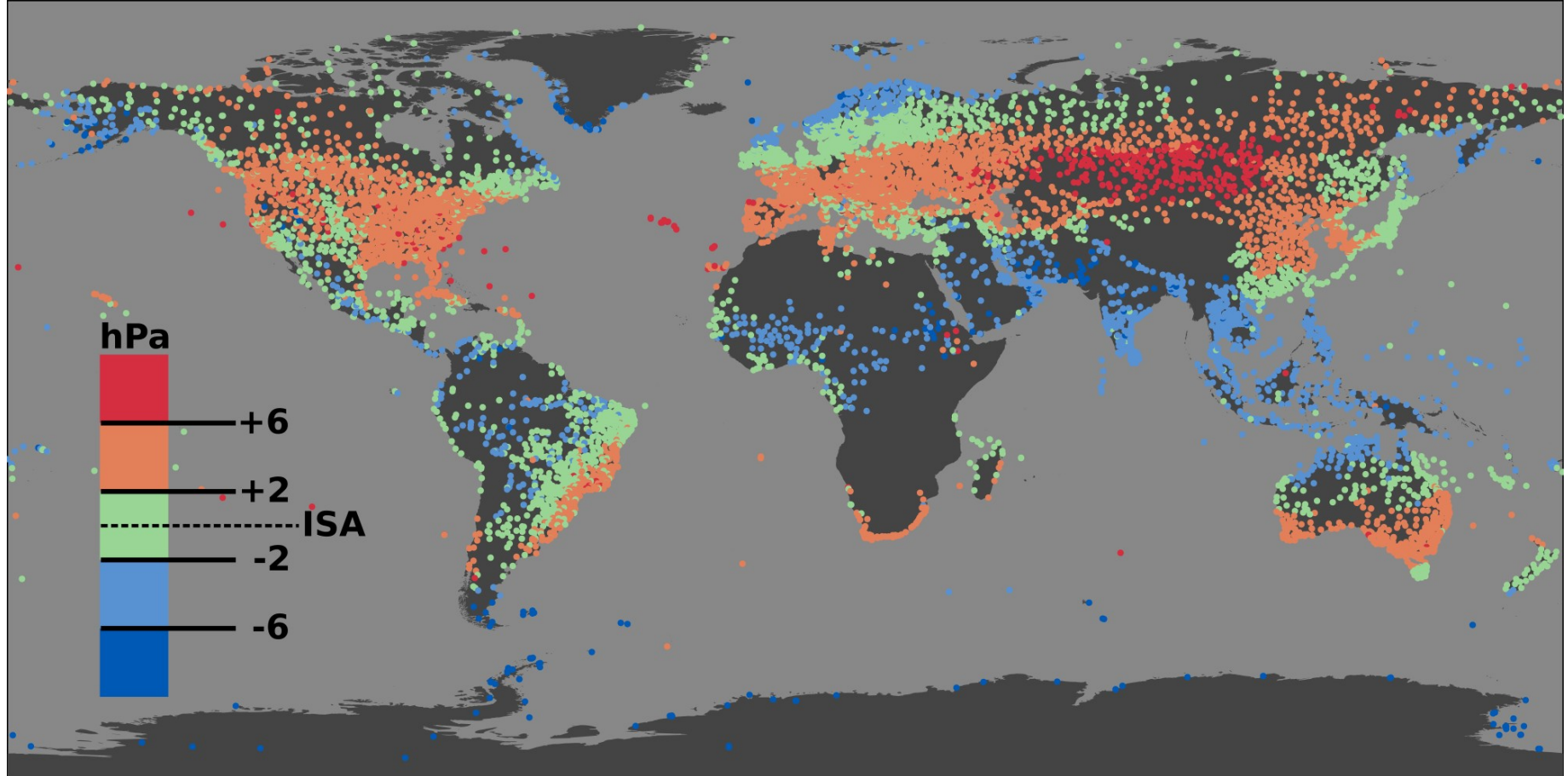
# L'altitude mène à la pression

m	hPa	m	hPa	m	hPa	m	hPa	m	hPa	m	hPa
0	1013	500	955	1000	899	1500	846	2000	795	2500	747
50	1007	550	949	1050	893	1550	840	2050	790	2550	742
100	1001	600	943	1100	888	1600	835	2100	785	2600	738
150	995	650	938	1150	883	1650	830	2150	780	2650	733
200	989	700	932	1200	877	1700	825	2200	775	2700	728
250	984	750	926	1250	872	1750	820	2250	771	2750	724
300	978	800	921	1300	867	1800	815	2300	766	2800	719
350	972	850	915	1350	861	1850	810	2350	761	2850	715
400	966	900	910	1400	856	1900	805	2400	756	2900	710
450	960	950	904	1450	851	1950	800	2450	752	2950	706

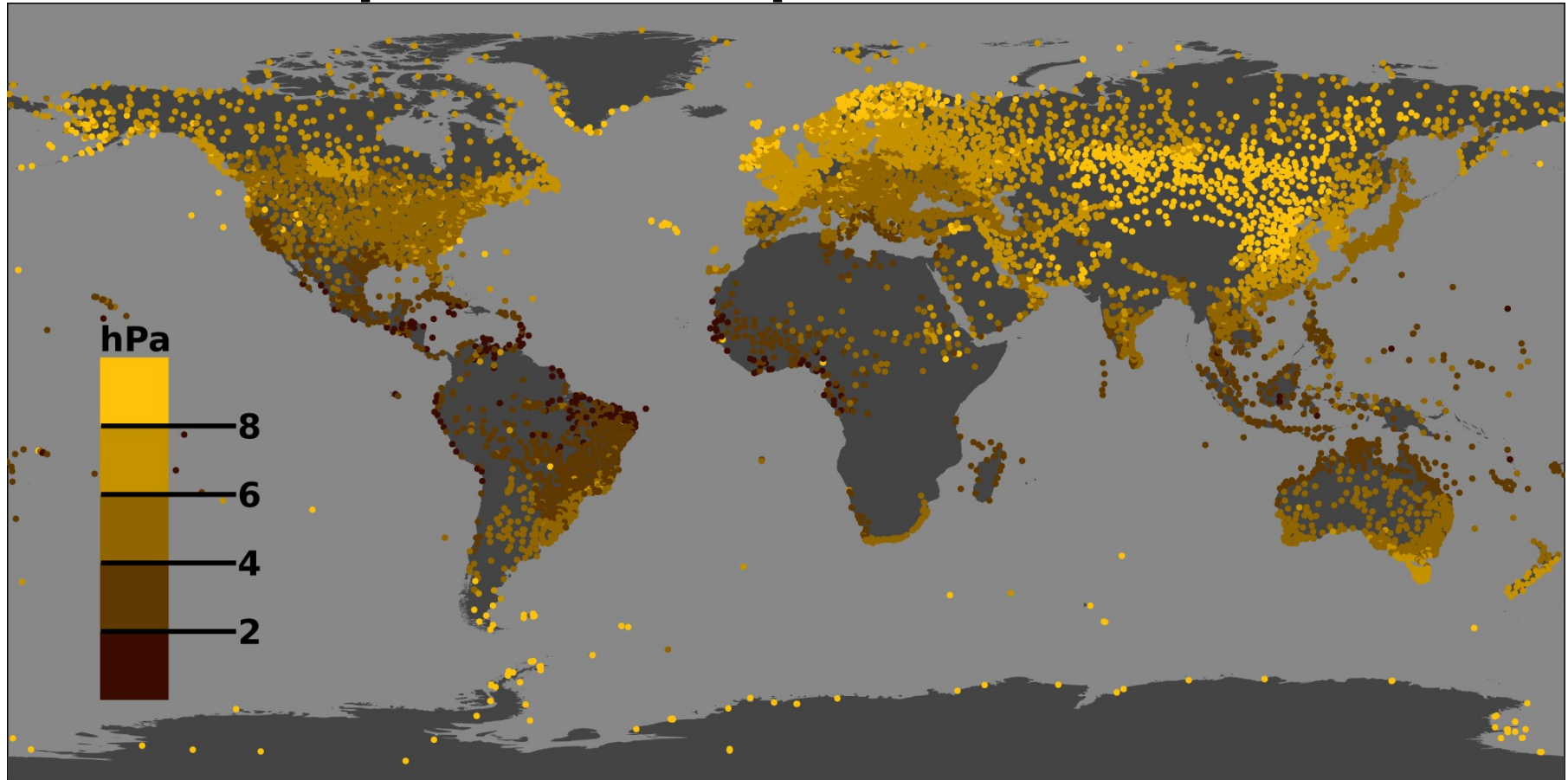
(données de ISO 2533:1975 – Standard Atmosphere)



# Écart de la pression moyenne du modèle atmosphérique standard



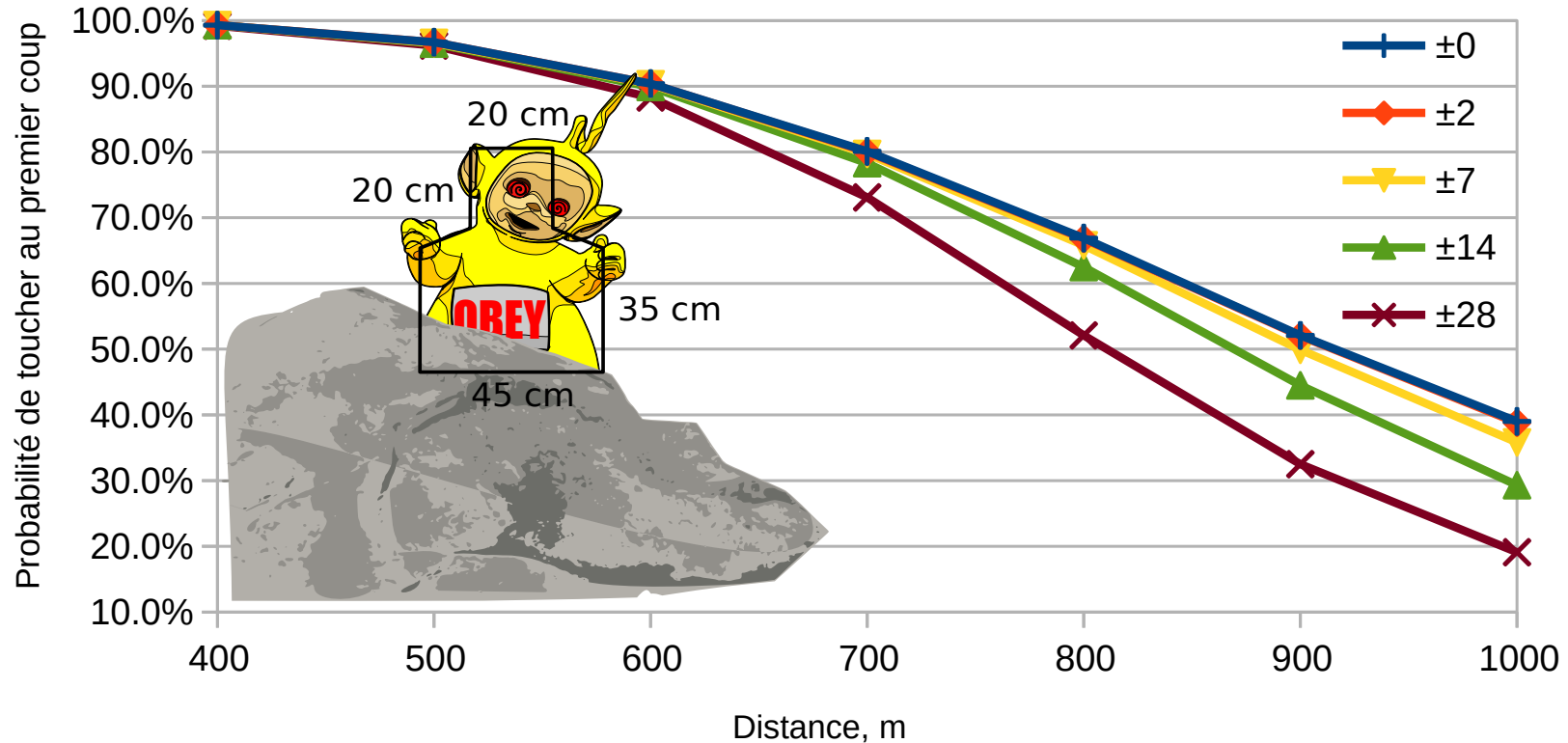
# Erreur médiane de détermination de la pression par l'altitude





# La grosse conclusion en image

Erreur médiane d'estimation de la pression atmosphérique, hPa



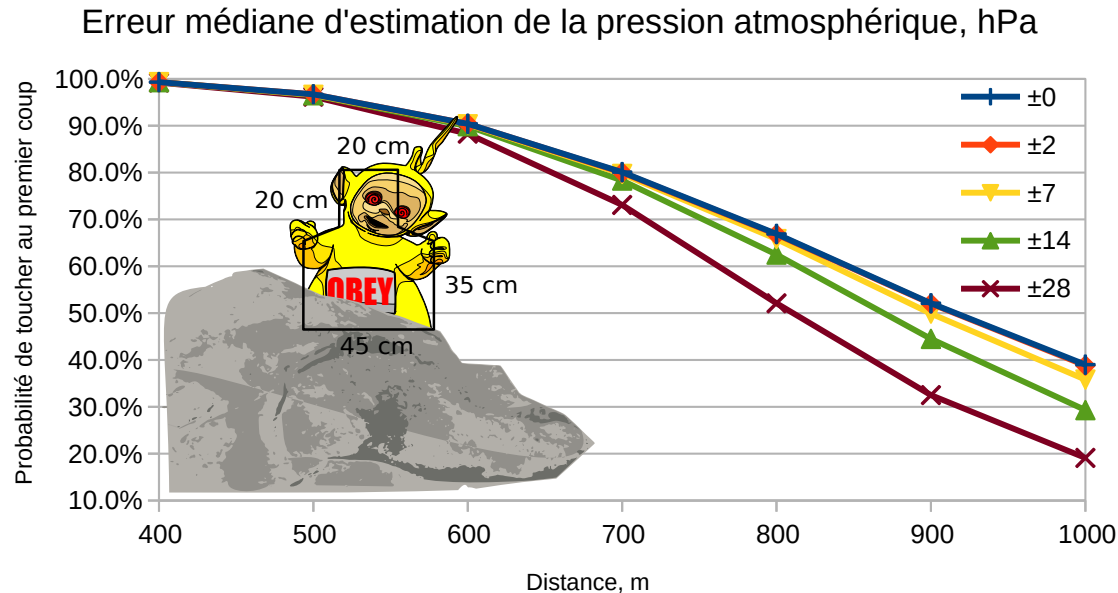
# Scenarios

- $\pm 0$  hPa Parfaite connaissance et prise en compte de la pression atmosphérique. Cette situation, comme tout autre idéal, ne se produit pas dans la réalité. Ça sert de point de référence pour tout le reste.
- $\pm 2$  hPa Estimation conservatrice de l'erreur des baromètres électroniques de poche.
- $\pm 7$  hPa Estimation conservatrice de l'erreur de détermination de la pression à partir de l'altitude en Europe ou en Amérique à latitude moyenne.
- $\pm 14$  hPa Murmansk par altitude ou baromètre-altimètre mécanique de poche, modèle "pacotille".
- $\pm 28$  hPa Sibérie du Sud un mauvais jour sans ajustement saisonnier ou détermination de l'altitude à la montagne "à l'œil".



# Pression : résumé [1]

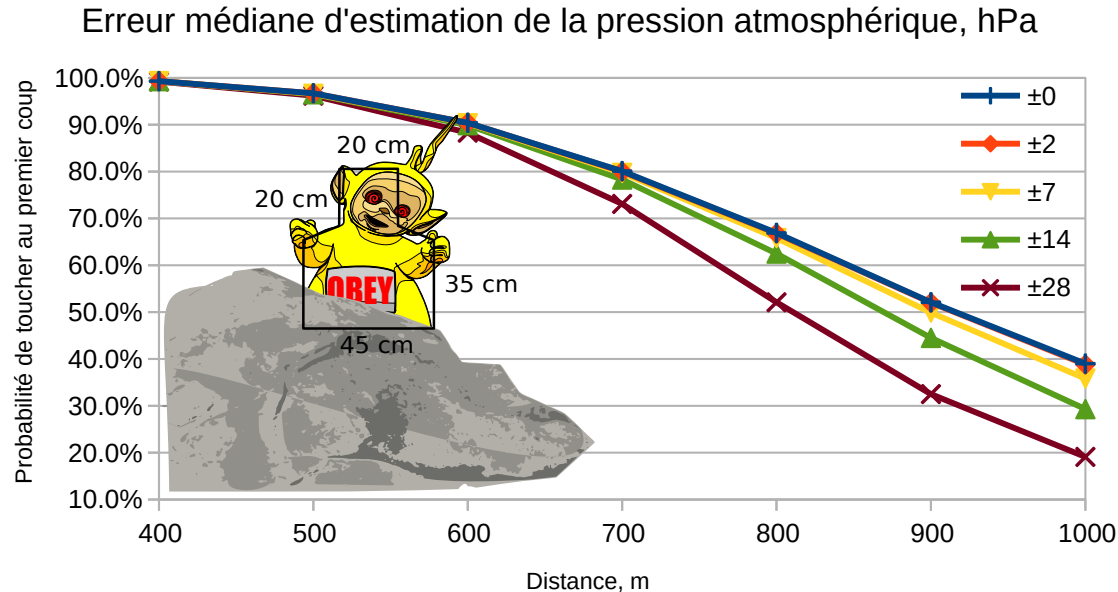
Jusqu'à des distances moyennes (pour les calibres .308 / 7.62x54 / 7.55x55 - 500m), même les méthodes les plus approximatives d'estimation de la pression atmosphérique fonctionnent de manière satisfaisante. À ces distances, on peut très bien vivre sans baromètre.





# Pression : résumé [2]

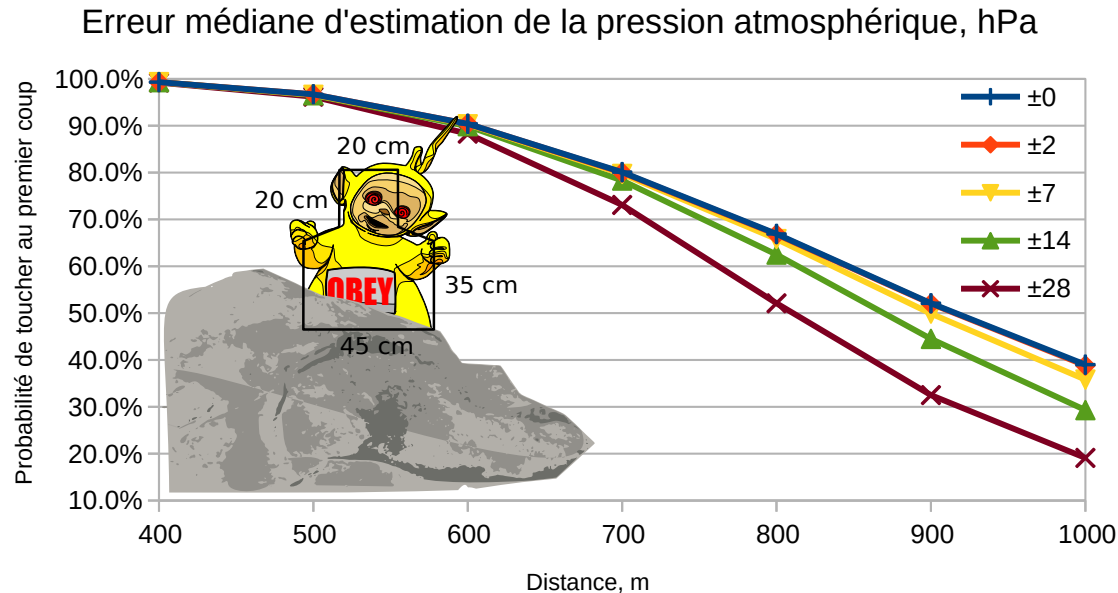
Un baromètre de poche électronique moderne offre la précision de mesure qui élimine toute question de pression atmosphérique pour toutes les applications et distances de tir.





# Pression : résumé [3]

La détermination de la pression par l'altitude donne des résultats tout à fait satisfaisants à toutes les distances de tir pratiques et pour la majorité des applications de tir. Avec une préparations adéquate, on peut confortablement vivre sans piles.



# Température : points de départ

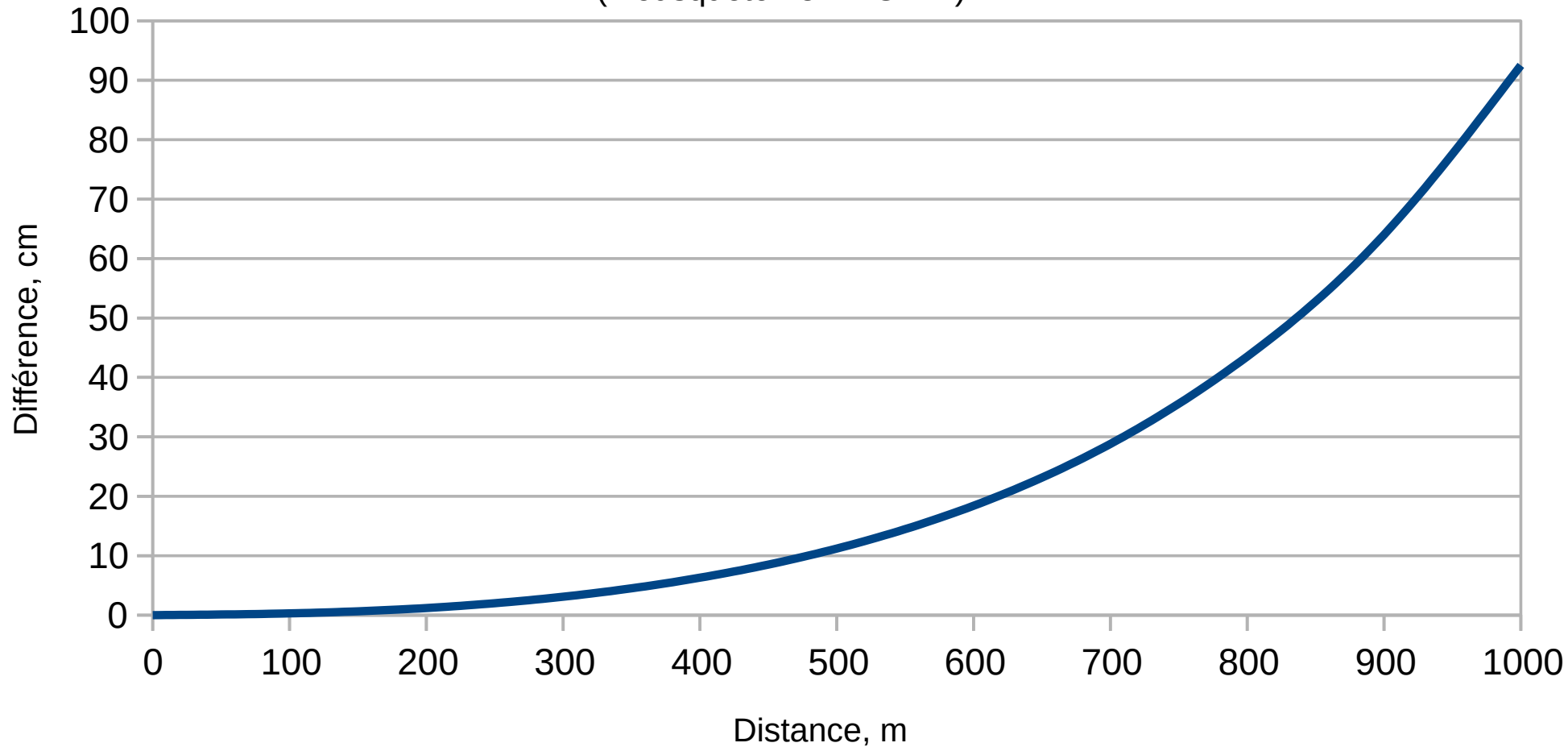
**Mauvaise nouvelle** : comme pour la pression atmosphérique, il n'existe pas de règle simple ou d'heuristique permettant d'estimer "à la main" les corrections de température pour un système d'armes arbitraire.

**Autre mauvaise nouvelle** : la température est un phénomène extrêmement variable.

**[Petite] bonne nouvelle** : dans des climats non extrêmes, à courte distance (jusque à 200-300m) la température n'a que très peu d'influence, et la plupart du temps peut être négligée.

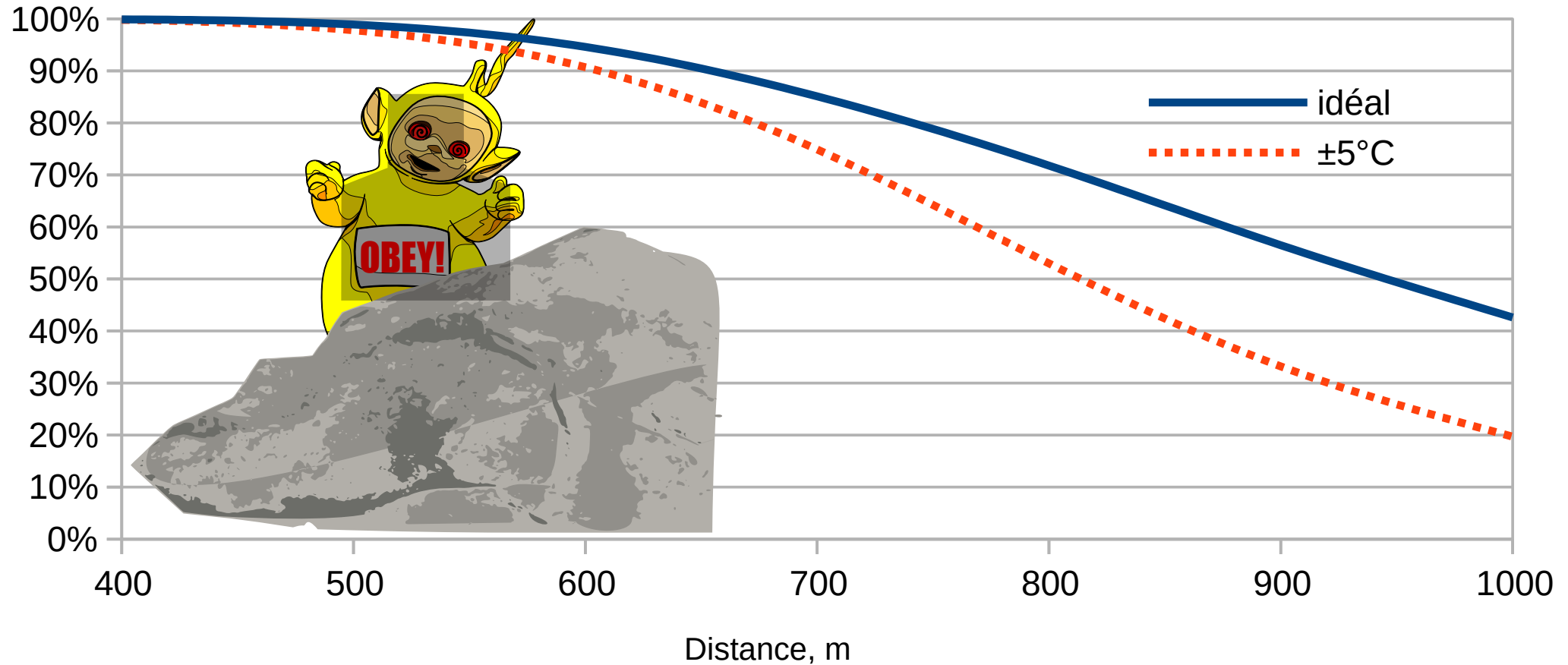
# Différence de trajectoires, +10°C vs. +30°C

(Mousqueton 31 + GP11)



# Probabilité de toucher la cible de campagne "G" au premier coup

(précision de mesure de la température)





# NOAA Heat Index

H, %	T, °C							
	27	28	29	30	31	32	33	34
40	27	27	28	29	31	33	34	36
45	27	28	29	31	32	34	36	38
50	27	28	29	31	33	35	37	39
55	27	29	30	32	34	36	38	41
60	28	29	31	33	35	38	41	43
65	28	29	32	34	37	39	42	46
70	28	30	32	35	38	41	44	48
75	29	31	33	36	39	43	47	51
80	29	32	34	38	41	45	49	54
85	29	32	36	39	43	47	52	57
90	30	33	37	41	45	50	55	
95	30	34	38	42	47	53		
100	31	35	39	44	49	56		

# Wind Chill (per Siple + Passel)

V, km/h	T, °C						
	10	5	0	-5	-10	-15	-20
0	10	5	0	-5	-10	-15	-20
5	9.8	4.1	-1.6	-7.3	-12.9	-18.6	-24.3
10	8.6	2.7	-3.3	-9.3	-15.3	-21.2	-27.2
15	7.9	1.7	-4.4	-10.6	-16.7	-22.9	-29.1
20	7.4	1.1	-5.2	-11.6	-17.9	-24.2	-30.5
25	6.9	0.5	-5.9	-12.3	-18.8	-25.2	-31.6
30	6.6	0.1	-6.5	-13	-19.5	-26	-32.6
35	6.3	-0.4	-7	-13.6	-20.2	-26.8	-33.4
40	6	-0.7	-7.4	-14.1	-20.8	-27.4	-34.1
45	5.7	-1	-7.8	-14.5	-21.3	-28	-34.8
50	5.5	-1.3	-8.1	-15	-21.8	-28.6	-35.4



# Corps humain = mauvais thermomètre

En dehors de conditions de chambre (15-20°C, à l'ombre et sans vent), les estimations subjectives de la température peuvent être radicalement fausses. La température doit être mesurée avec un instrument et non pas au feeling du corps humain.

# Obstacle principal : mesurer la bonne chose

- Il nous faut la température de l'air sur la trajectoire (et pas celle du corps de l'instrument, du sol etc.)
- Cf. mots-clés "abri météo" ou "abri Stevenson"
- Image très instructive





# Pour ne pas mesurer ce qu'il ne faut pas mesurer

Les capteurs électroniques modernes ont une précision (un  $\sigma$ ) de  $\pm 0.2-0.3^\circ\text{C}$  – largement assez précis pour le tir. Le souci est qu'ils mesurent la température du corps de l'appareil.

Pour prendre la température de l'air, laisser le temps (30 minutes) pour que le corps de l'instrument égalise de température avec l'air ambiant. Le thermomètre doit passer cette demi-heure (1) à l'ombre, (2) loin du sol, (3) à l'air libre.

# L'atout magique

- Ne marche qu'avec les appareils à capteur externe
- Les deux thermomètres viennent juste de se retrouver à l'extérieur, celui de droite à subi l'atout
- Atout = tourner l'appareil sur la ficelle, tel une fronde, pendant 30 secondes, et lire les indications tout de suite après
- (ce conseil magique vient de Kestrel)





# Une demi-heure plus tard



tout est stable, divergence maximale =  $0.4^{\circ}\text{C}$  (= rien du tout)  
plus besoin de l'atout



# Thermomètre de poche : le choix décisif

Pour les besoins de TLD, il est préférable de choisir l'équipement au capteur de température externe, car on peut "tourner la ficelle", et en une demi-minute lire des chiffres utiles.





# Température : conclusion

La température est le deuxième facteur quantifiable le plus important en TLD, juste après la distance à la cible (et le troisième facteur le plus important, après l'ineffable vitesse du vent).

Après un bon télémètre laser (une priorité absolue pour le TLD, avant même les optiques coûteuses, et tout autre "équipement pro"), un bon thermomètre – pour le prix d'une boîte ou deux de cartouches – permettra d'économiser beaucoup de munitions à l'avenir.