

# Balles en vol: la balistique extérieure pratique

La science expliquée simplement  
aux tireurs qui ont envie de comprendre

Module 6: l'atmosphère  
(6.1 de quoi il s'agit)

# Premier diapo

[toujours le même]

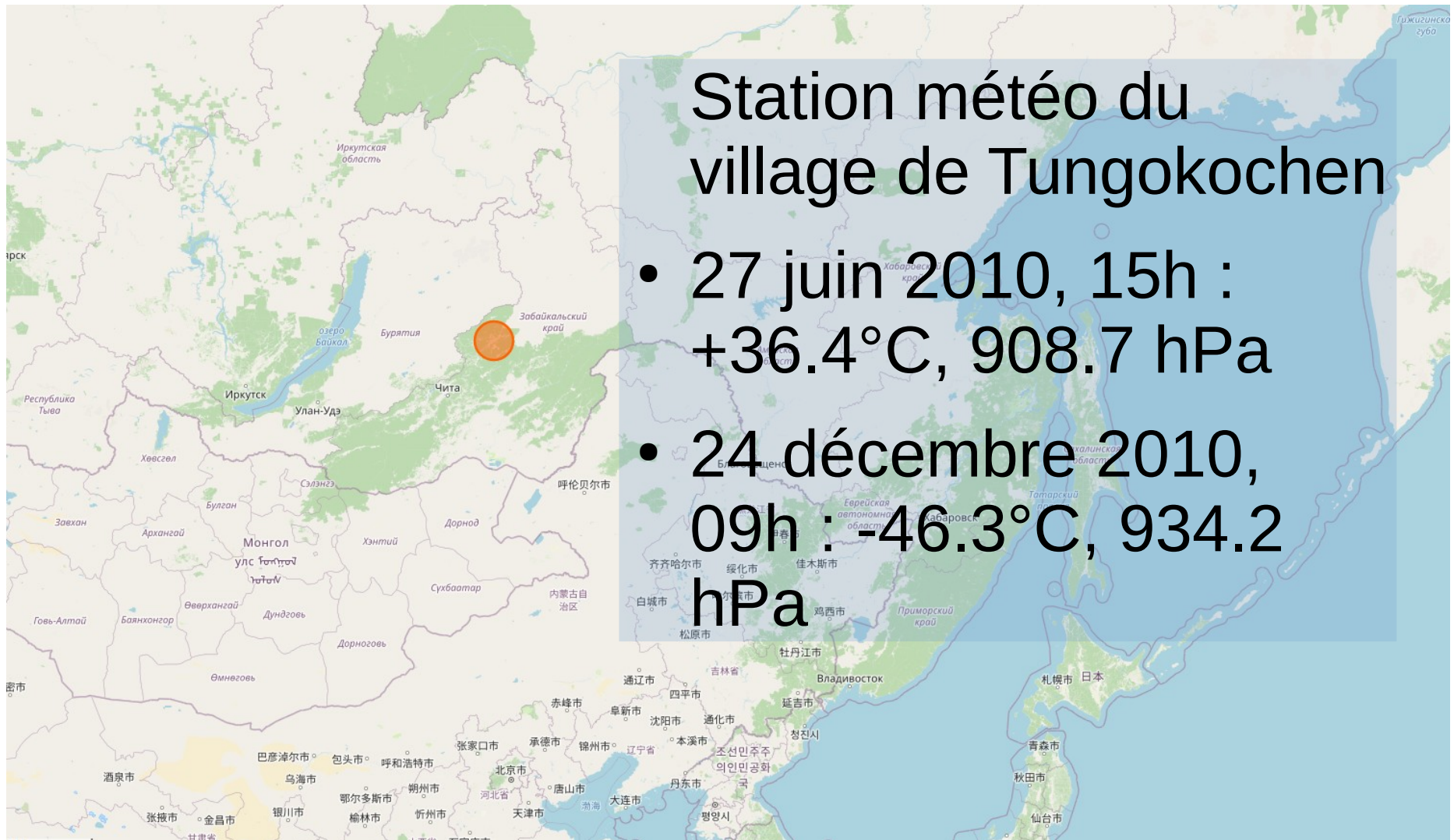
# La météo, quand tu nous tiens

- On sait déjà que dans une atmosphère donnée la trajectoire supersonique est définie [à 99.9 %] par :
  - la  $V_0$
  - le BC
- Le mot-clé d'aujourd'hui = "atmosphère donnée"

# Intermezzo : source de données

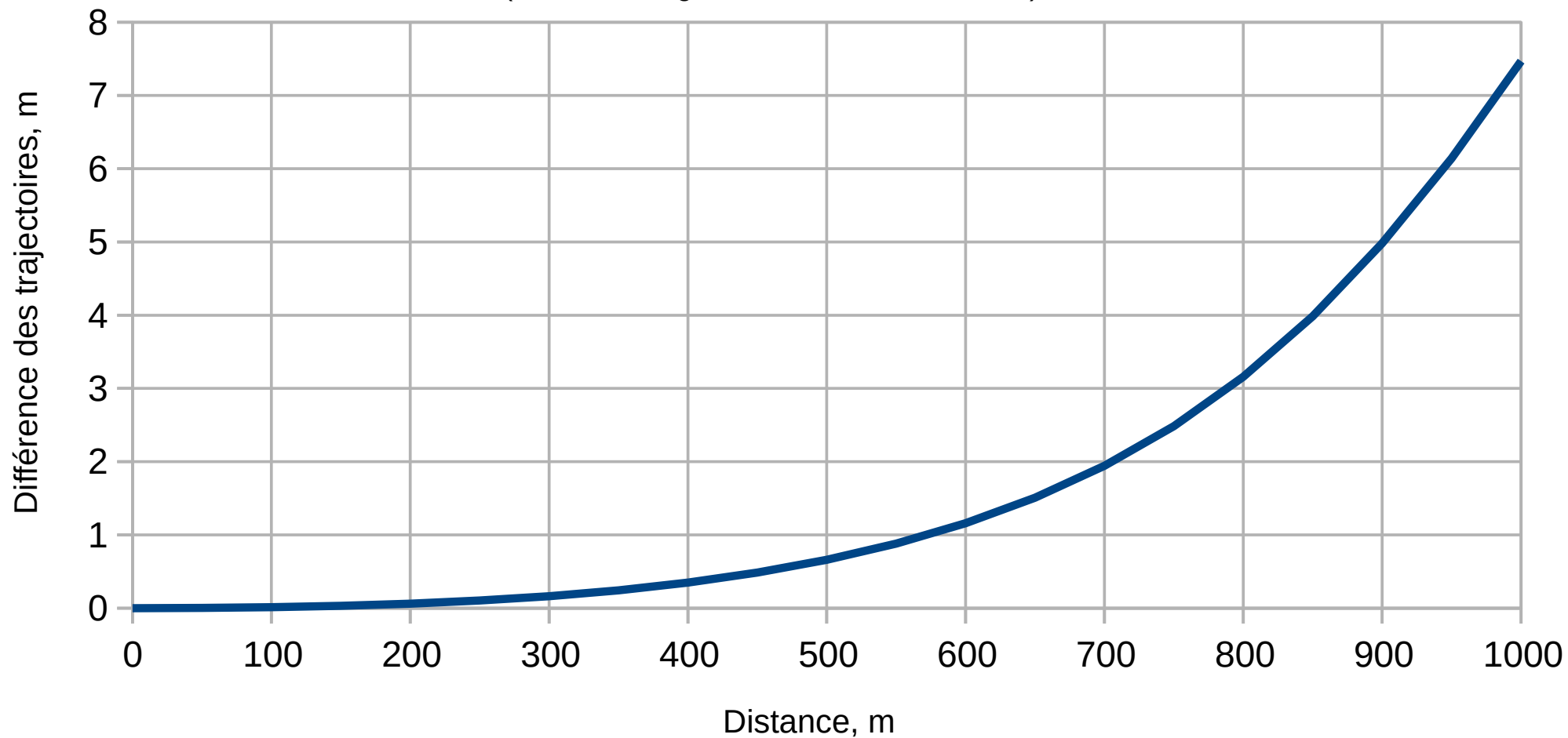
- Administration nationale des affaires océaniques et atmosphériques des États-Unis (NOAA), publiées dans le cadre du projet Integrated Surface Database (ISD) : <https://www.ncdc.noaa.gov/isd>
- Premières données : 1901
- Aujourd'hui : > 14'000 stations dans le monde entier, plusieurs fois par jour
-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





← (ça s'appelle un PDI)

**6.1.** 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.

**6.2.** 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.

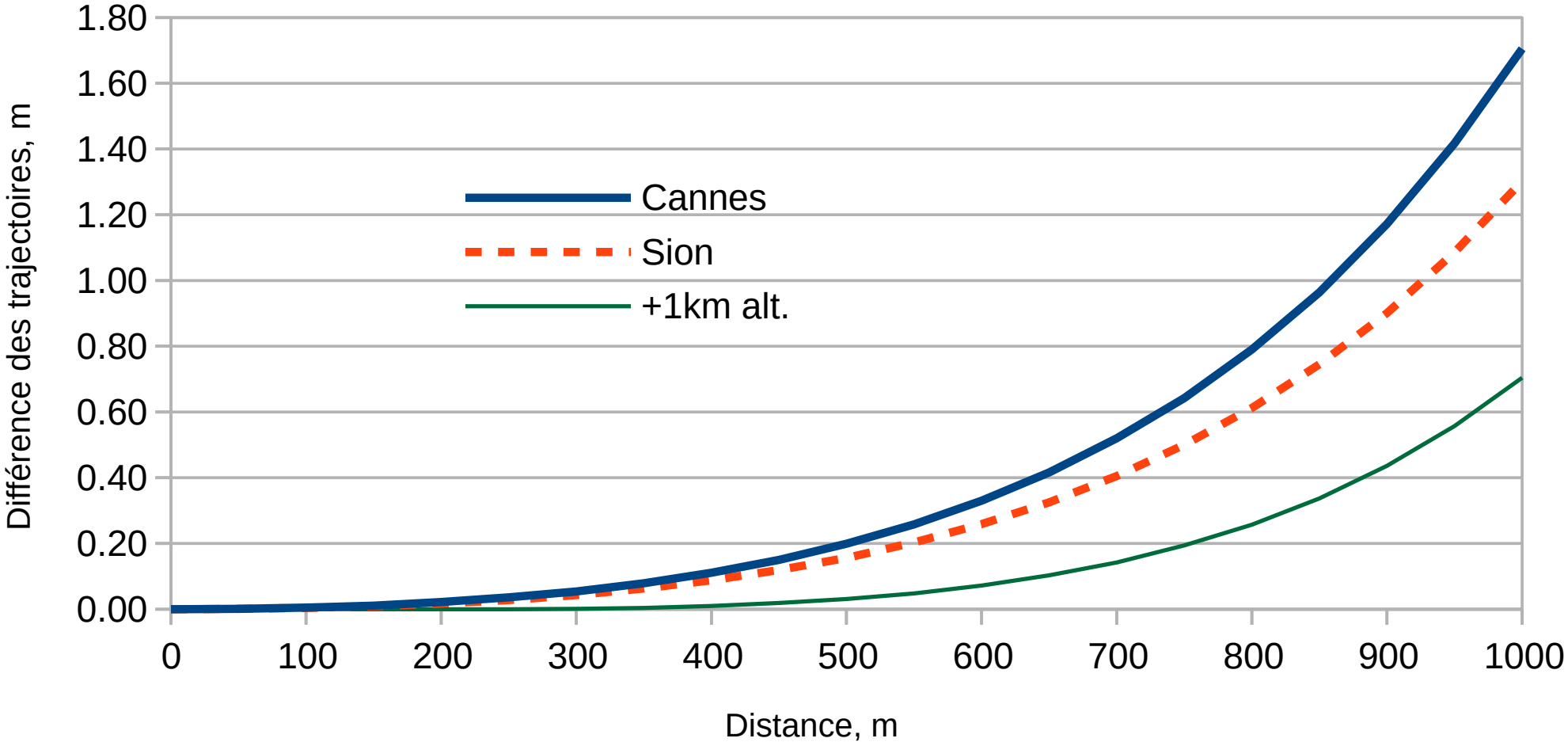
# Exemples moins extrêmes

- 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)





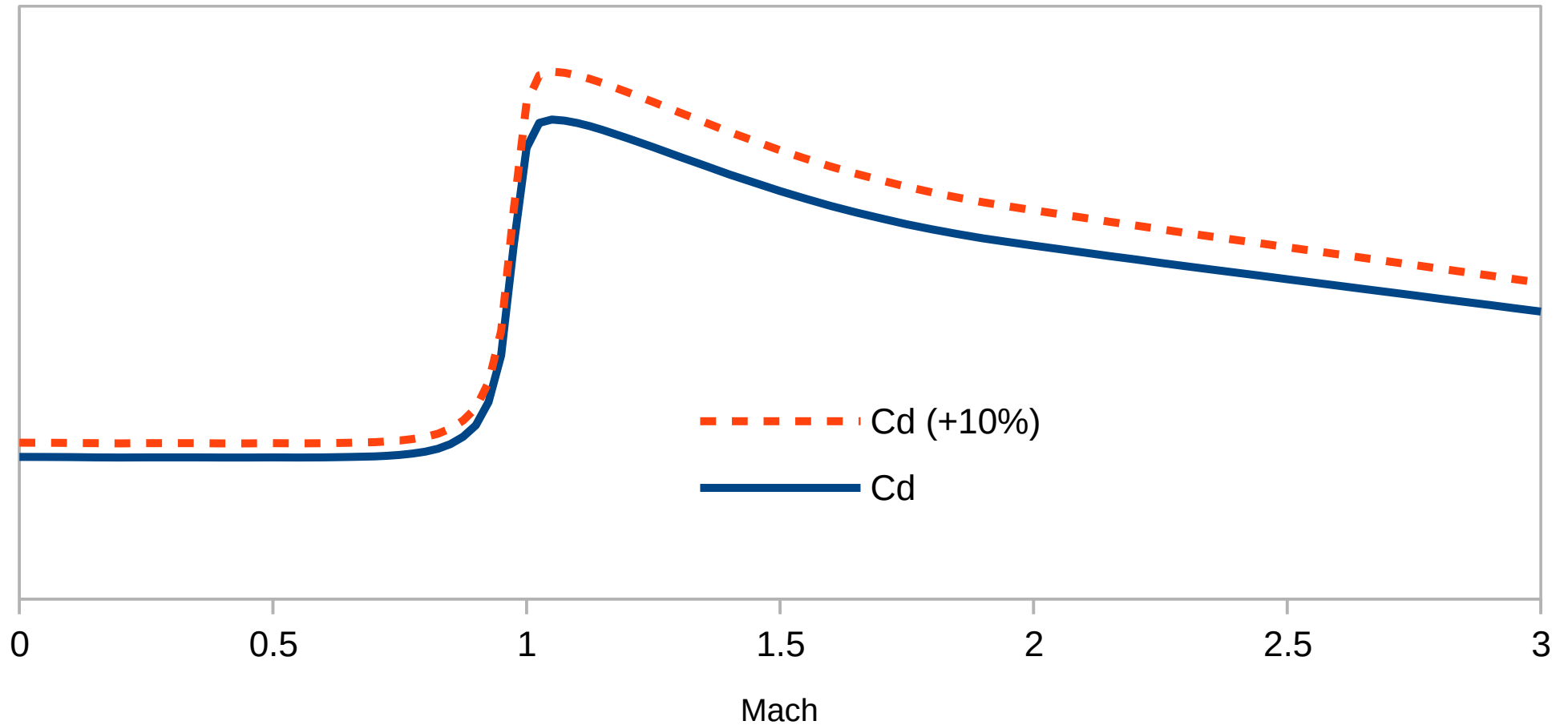
# Les conclusions s'imposent

**6.3.** 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.

**6.4.** 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 dénivelé 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 laboratoires)
- 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 le lecteur ; 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 + vapeurs d'eau
- Pression =  $P_a + P_v$
- Densité =  $D_a + D_v$
- 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

**6.5.** 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.