



Monte-Carlo à rebours

De la muographie à la gammamétrie

Valentin Niess

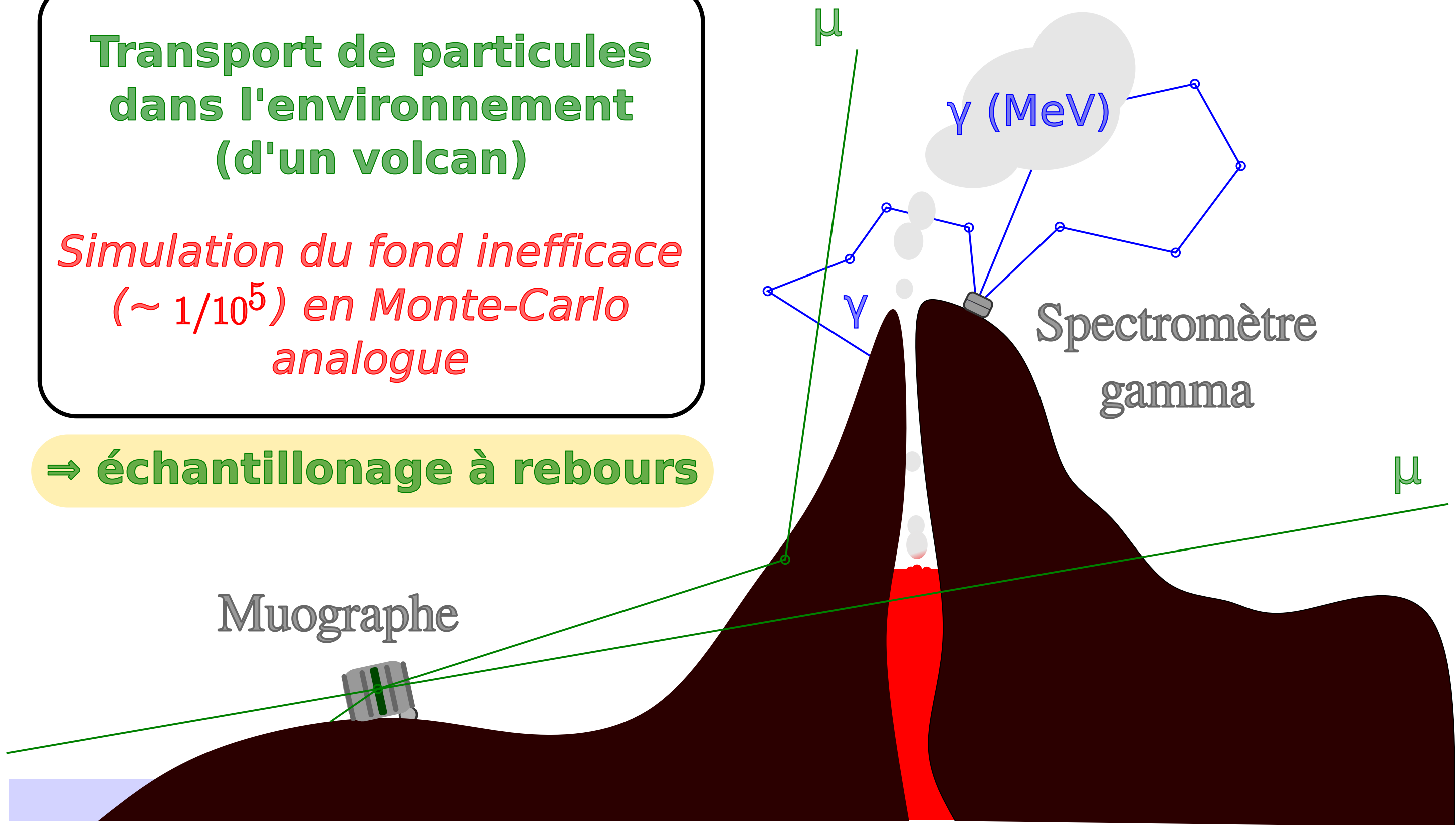
LPCA, 15/11/24

Contexte Géophysique

Transport de particules dans l'environnement (d'un volcan)

Simulation du fond inefficace (~ 1/10⁵) en Monte-Carlo analogue

⇒ **échantillonnage à rebours**



Muographe

Spectromètre gamma

μ

γ (MeV)

γ

μ

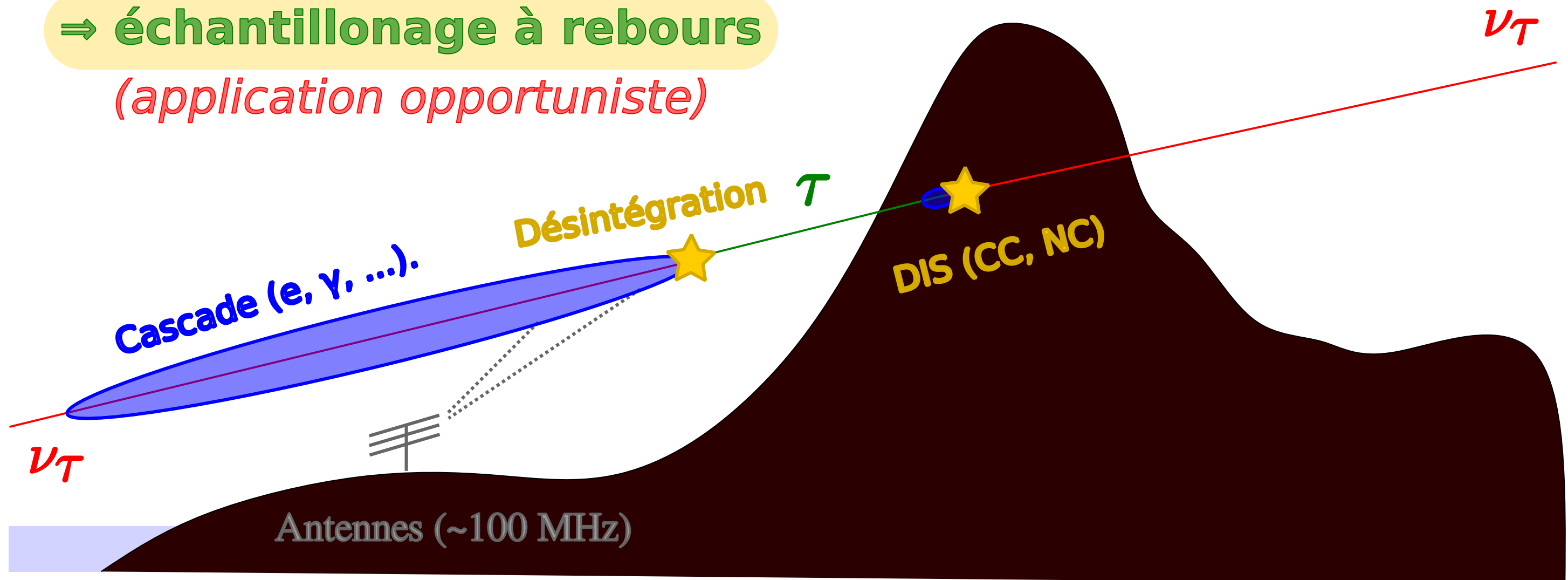
Contexte des Astroparticules

**Transport couplé ν - τ
dans l'environnement
(de montagnes)**

Signal rare ($\sim 1/10^3$)

\Rightarrow échantillonnage à rebours

(application opportuniste)



Le Monte-Carlo à rebours

Méthode d'échantillonnage préférentiel

- ★ Génération (à rebours) selon une densité $p^*(T)$
- ★ Pondération selon $\omega_b = \frac{p(T)}{p^*(T)}$

*Inversion algo.
CPC 229, 54 (2018)
[1705.05636].*

Cas du Monte-Carlo adjoint

$$p^*(E_0; E_1) \propto p(E_1; E_0) \left(\times E_0^{-\alpha} \right)$$

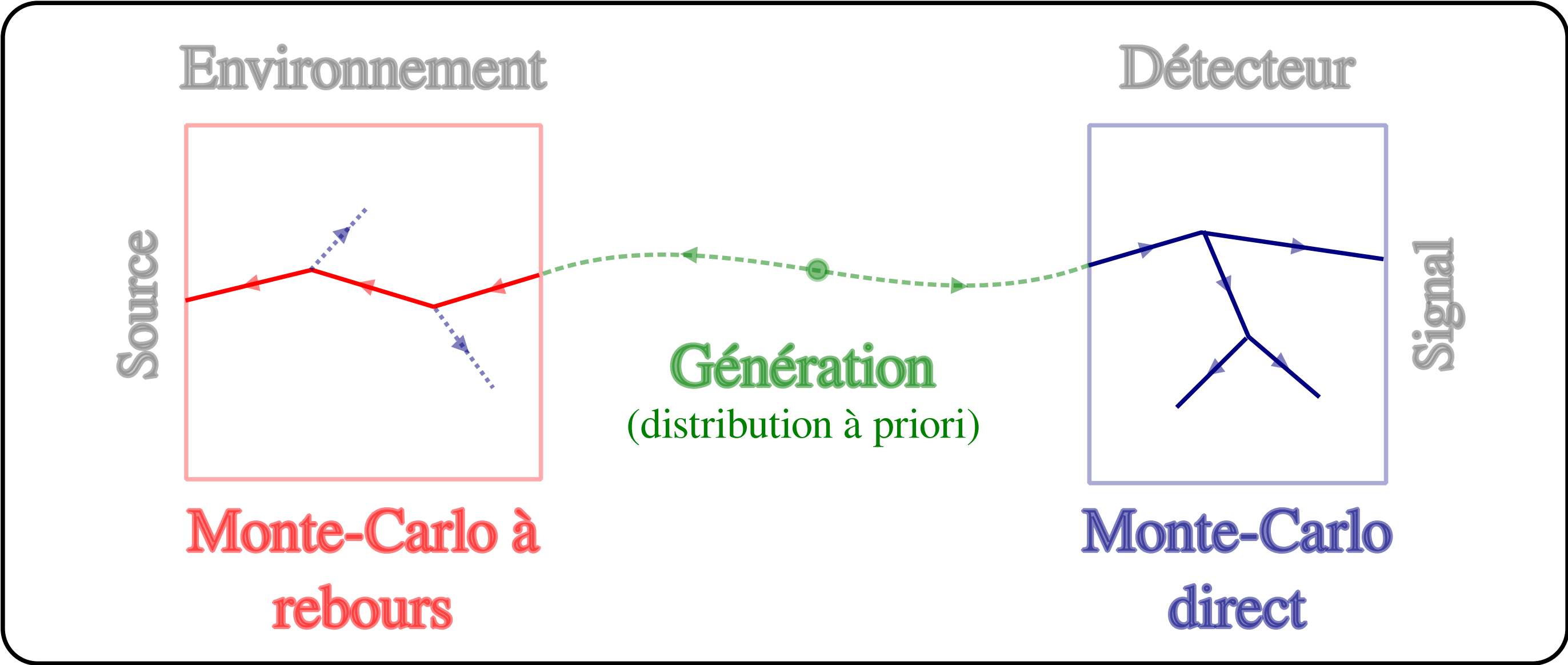
Le Monte-Carlo à rebours

Inversion du transport \neq Renversement temporel
(sauf dans le cas déterministe)

Le Monte-Carlo à rebours est une méthode

- ★ contraignant (maximalement) l'état final d'une trajectoire Monte-Carlo.
- ★ Pouvant être combiné avec un Monte-Carlo classique (splitting).

En pratique

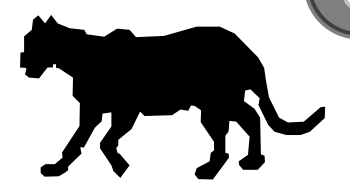


$$\phi_0 \times \omega_b \times \left(\frac{1}{p_{gen}} \frac{1}{N_{gen}} \right) \times (\vec{u} \cdot \vec{n}) = \omega_f$$

Le diable est dans les détails (facteur d'éclairement) Flux entrant (p.-ex. en Hz)




2. Développements logiciels

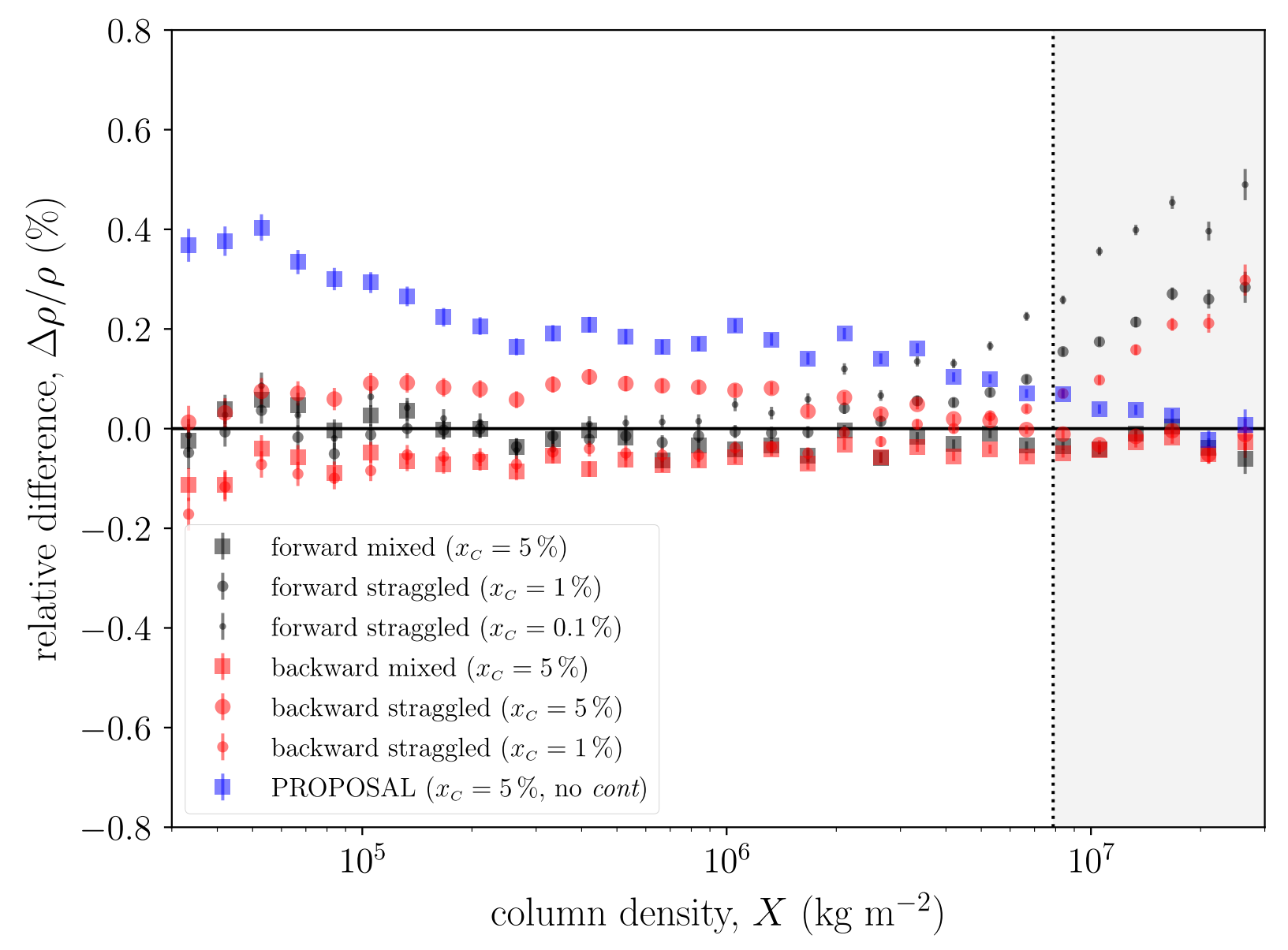


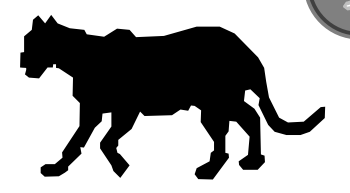
La librairie Pumas

CPC 229, 54 (2018) [1705.05636].
CPC 279, 108438 (2022) [2206.01457].

Transport de muons (et tau)

- ★ Librairie C. 
<https://github.com/niess/pumas>
2 fichiers (pumas.c/.h),
sans dependances.
- ★ Niveau de détail
configurable.
- ★ Mode à rebours
précis (0.2%).

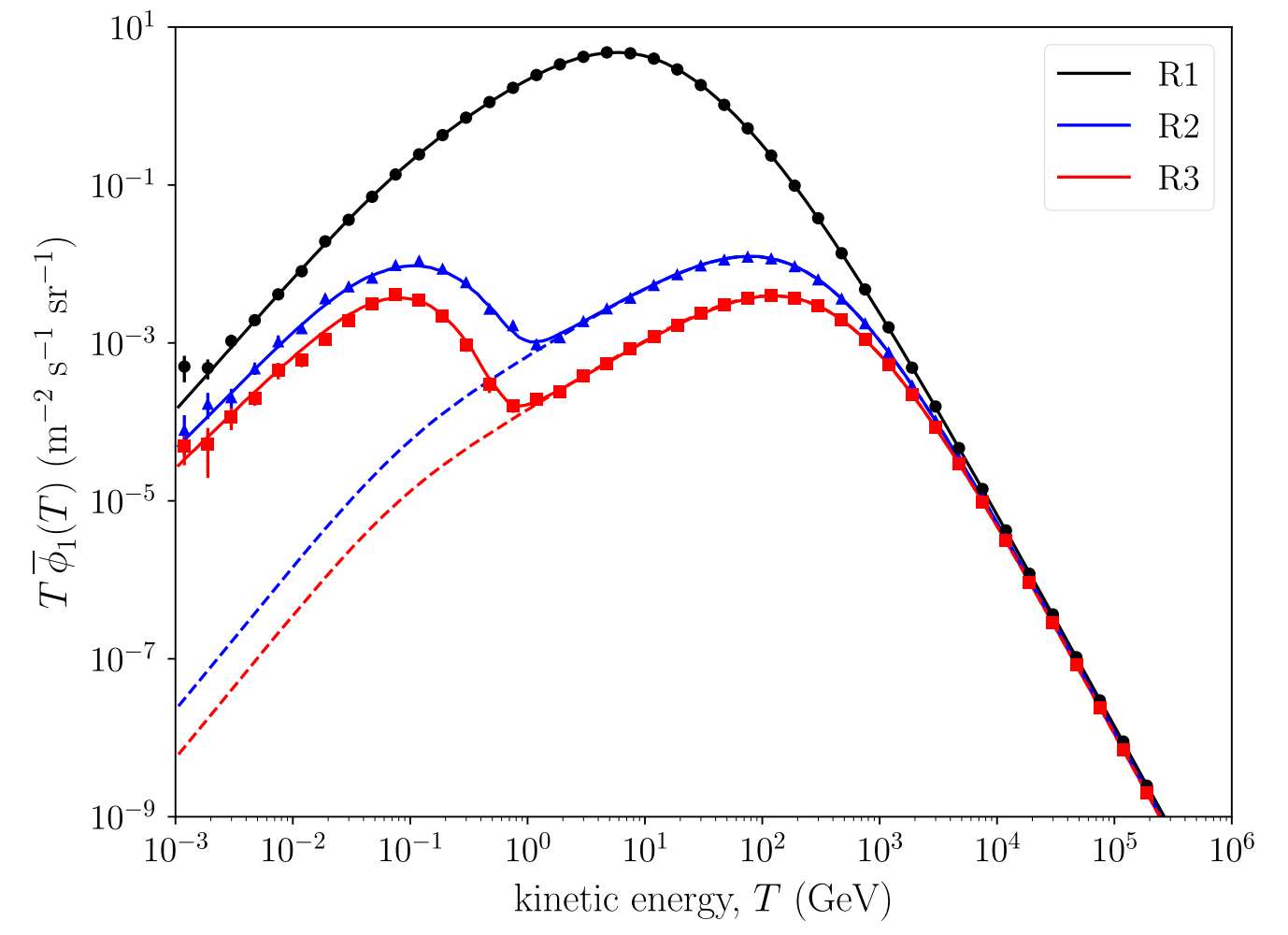
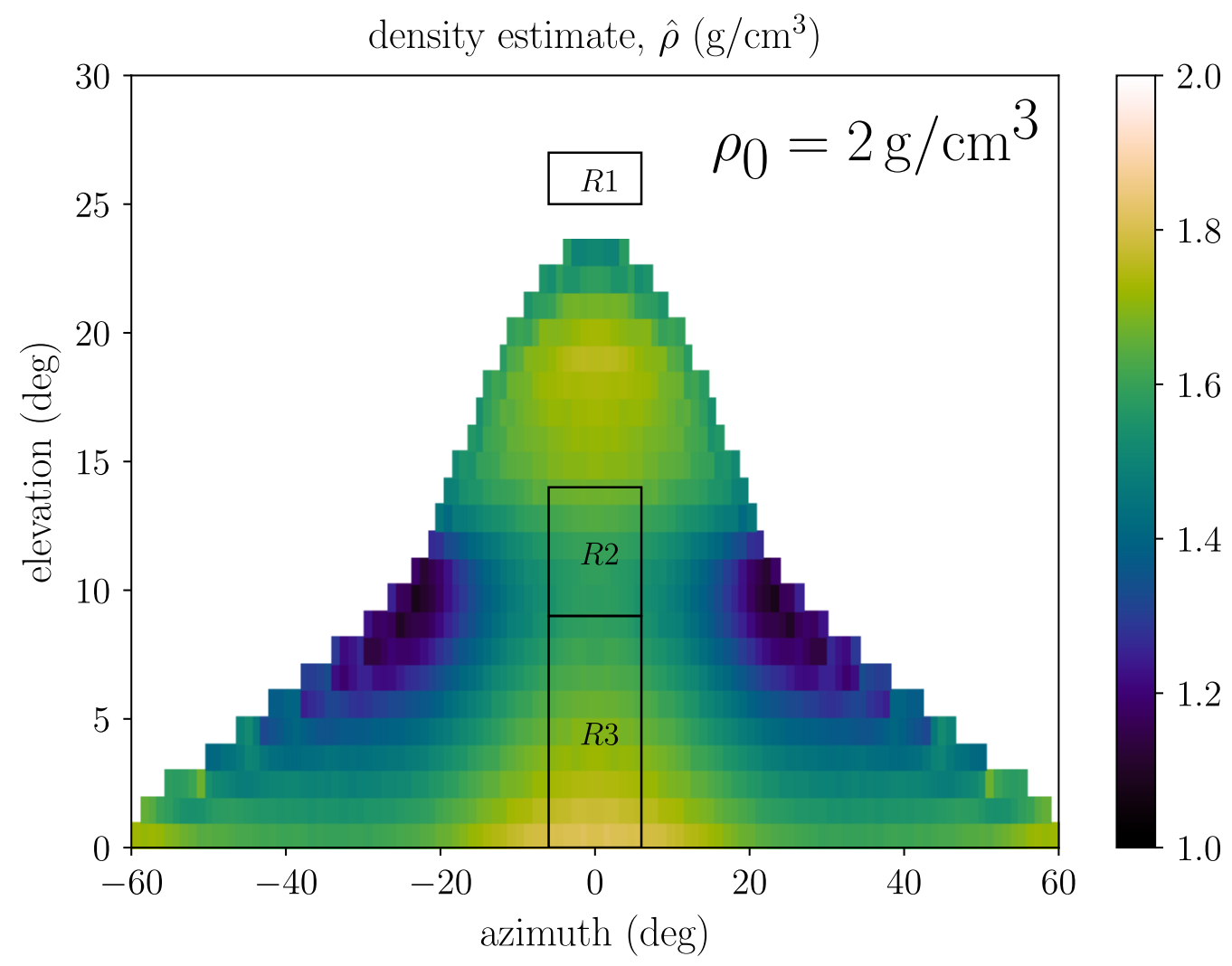




Performances de Pumas

Impact des muons de basse énergie

Géométrie simplifiée du mont Showa-Shinzan, GJI 206,1039 (2016).



Gain CPU en simulation à rebours: $\sim 10^5$

La librairie Turtle



CPC 247, 106952 (2020) [1904.03435]

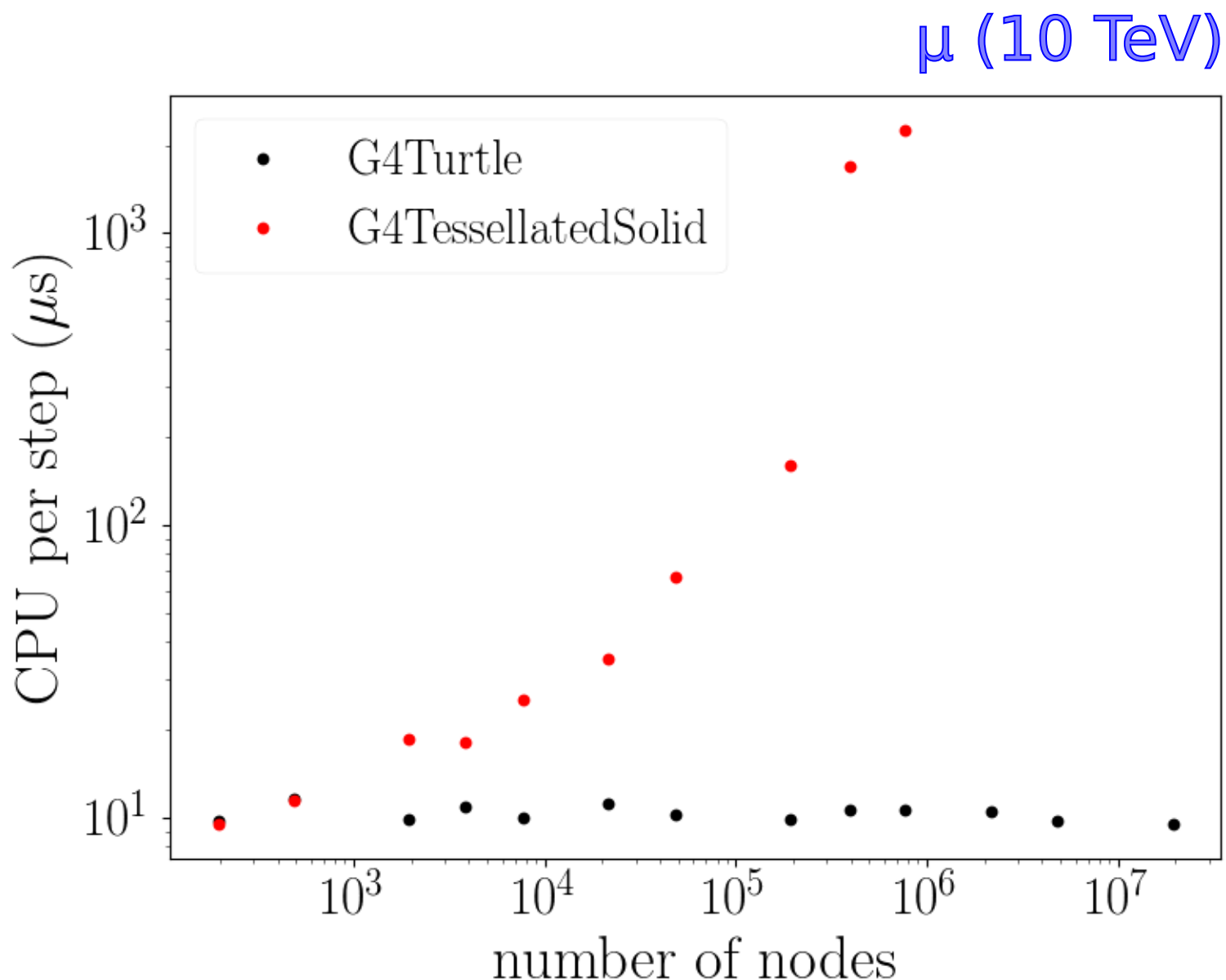
Rendu d'une topographie (MNT)

★ Librairie C. 

<https://github.com/niess/turtle>

★ Optimisé pour MC (cpu, mémoire).

★ Méthode itérative (erreur négligeable).





Alouette, Danton, Ent, etc.

CPC 282, 108508 (2023) [2208.11914]

[1810.01978].

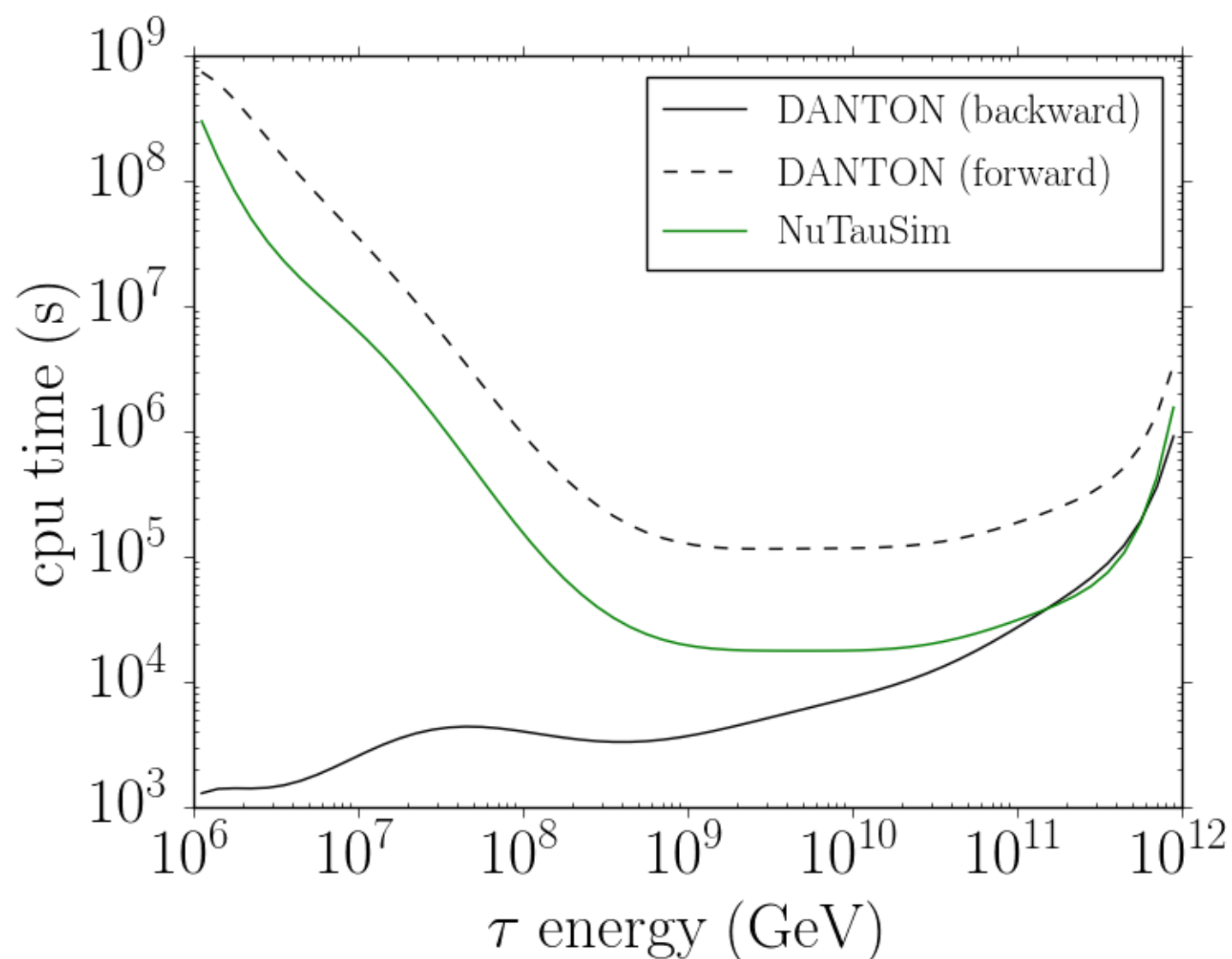
Transport couplé ν - τ (à rebours)

★ C \Rightarrow Python / Rust

<https://github.com/niess/danton>

★ Topo. détaillée
(avec Turtle).

★ Précision MC dét.
(~NuPropEarth)
+ performances.





Le module Goupil

Soumis à CPC (V. Niess, K. Vernet et L. Terray)

(article recherche rapporteur)

Transport de gammas issus de radio-isotopes

★ Module Python + Numpy, développé en Rust.

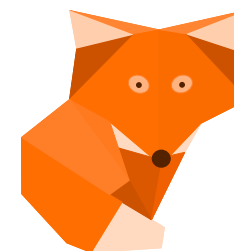
<https://github.com/niess/goupil>

★ Echantillonnage à rebours d'un spectre discret de raies d'émission.

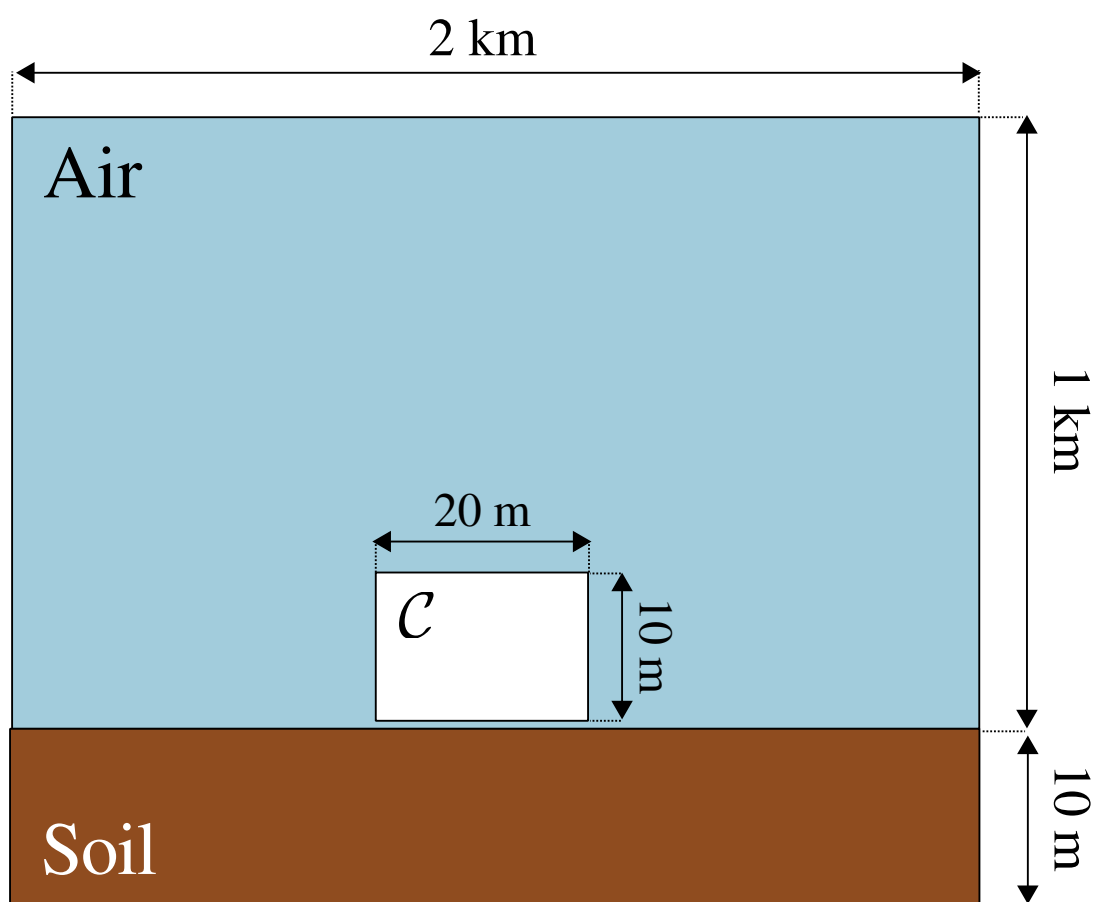
★ Géométrie stratifiée (MNT) à la Turtle.

★ Géométrie externe via une interface C, incluant un adaptateur à Geant4.

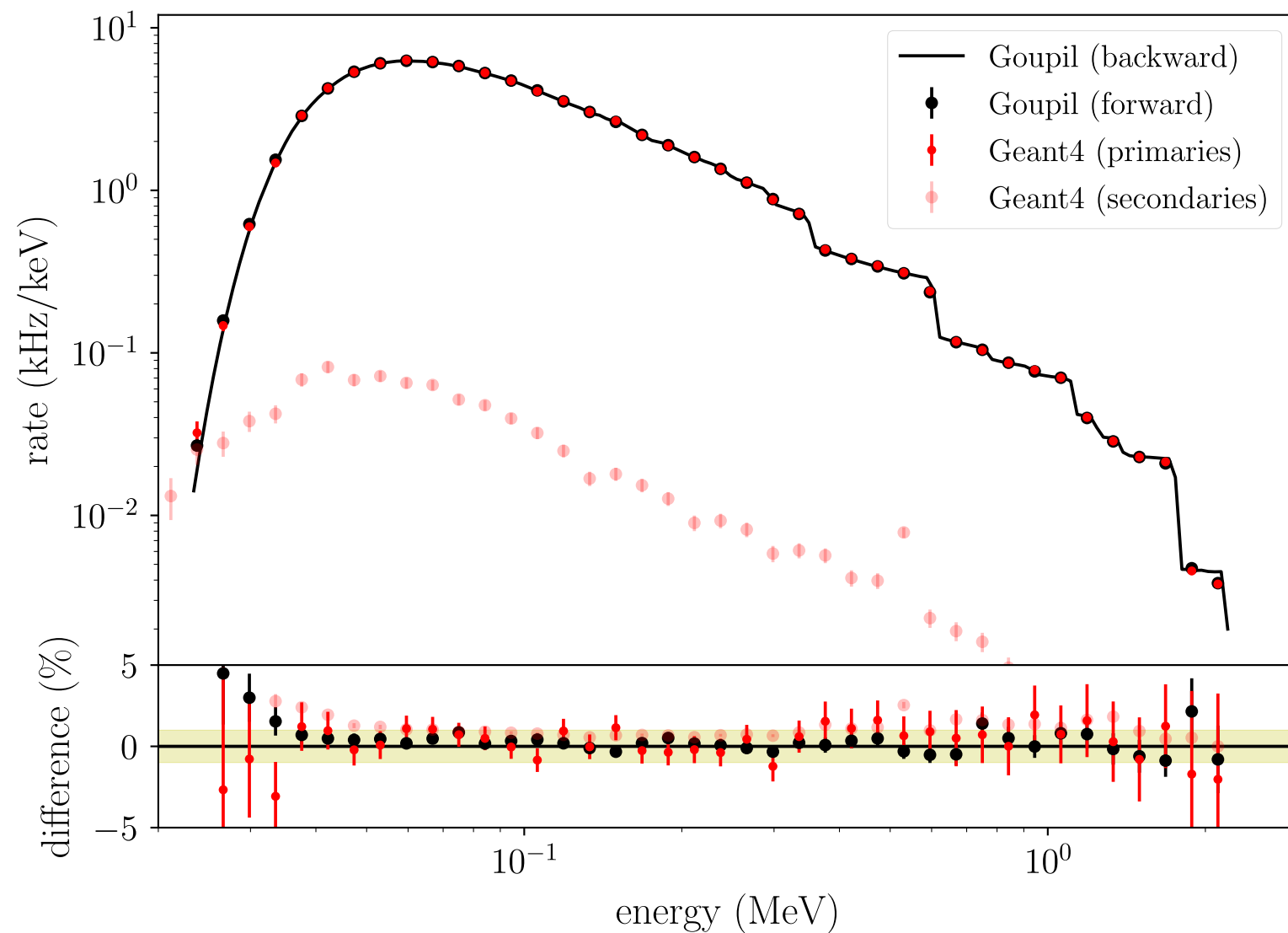
Performances de Goupil



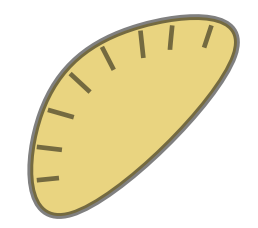
Géométrie test.



Fond Compton.



Gain CPU en simulation à rebours: $\sim 10^5$

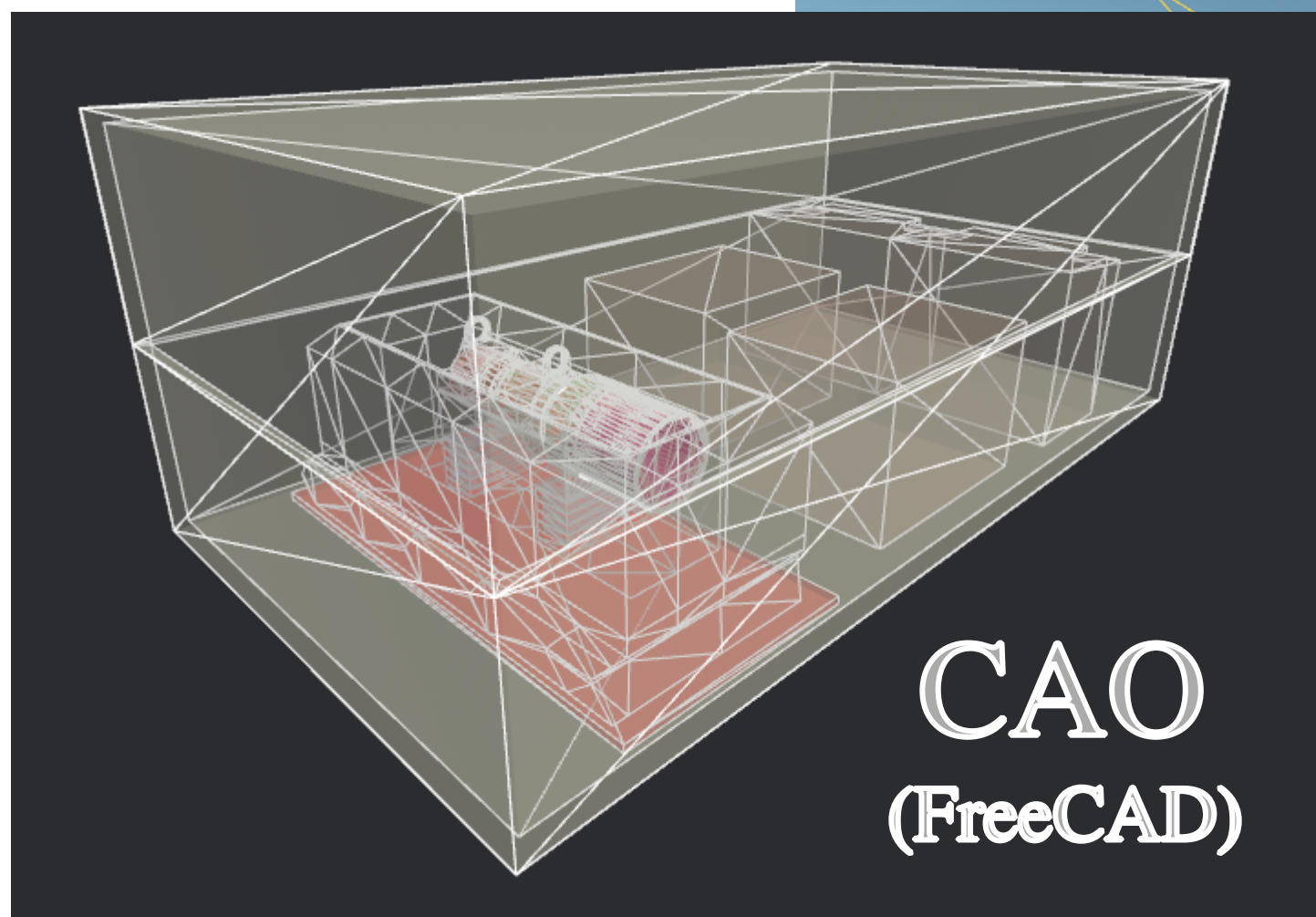


Le module Calzone

Encapsulation "simple" de Geant4
(utilisable avec Goupil)

Interface Python + Numpy
(avec Rust)

Visualisation (optionelle)



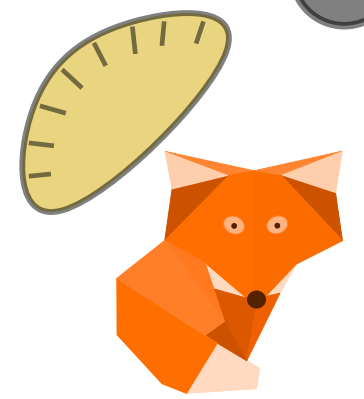
Volumes	Event [2]
Environment	gamma [1], Primary, 1.000 MeV..
Terrain	
Detector..	

Drone		
easting	-19.99	m
northing	-4.46	m
upward	12.55	m
azimuth	54.63	deg
elevation	-3.29	deg
speed	1.28	m/s
zoom	1.00	

MNT
(photogrammétrie)

Location		
latitude	12.00	deg
time	12	h
day	15	
month	11	
year	2024	

Exemple: Calzone + Goupil

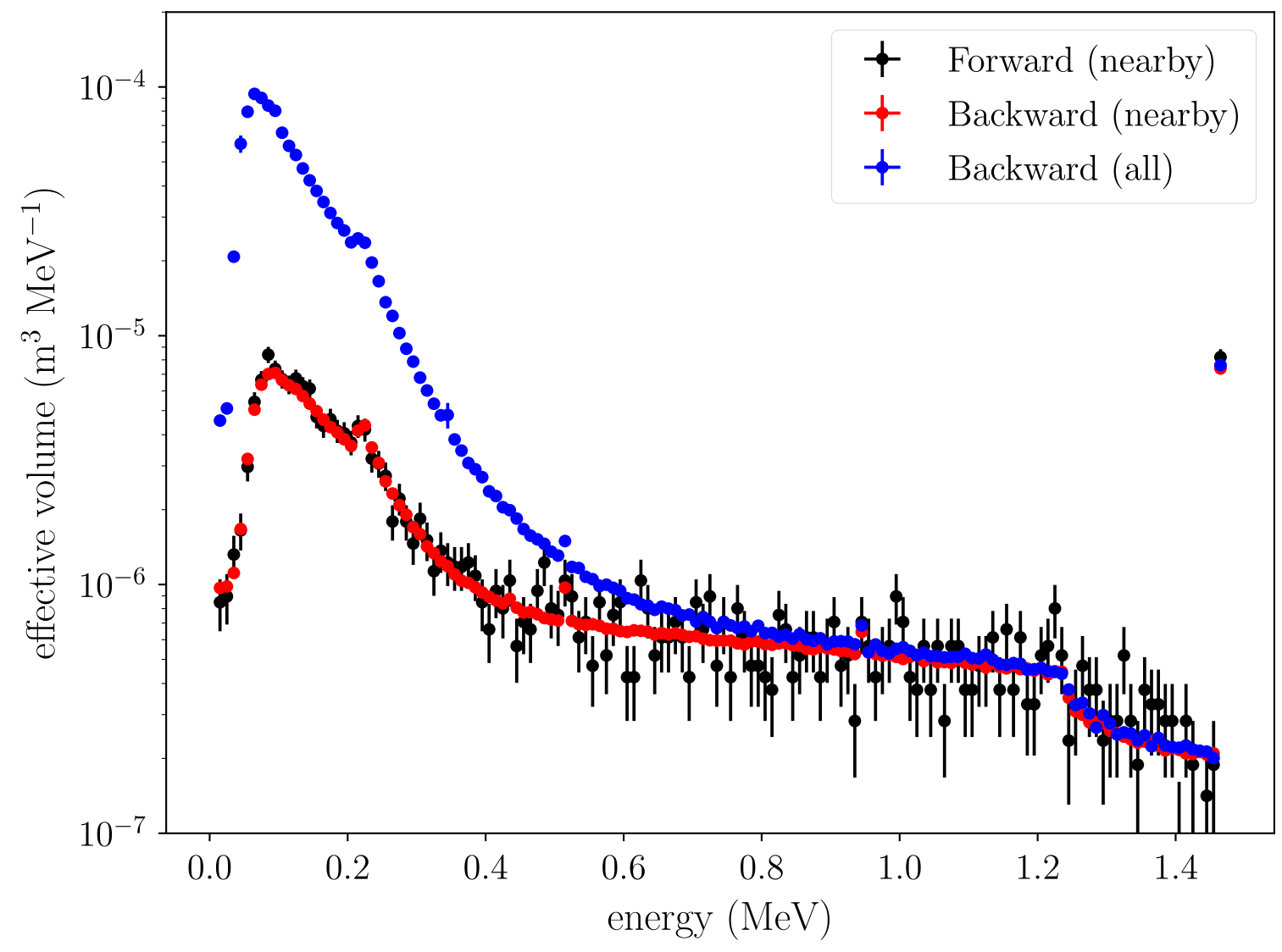


Campagne du Masaya

Gain CPU de la simulation hybride: $\approx 10^4$

γ rayonnés par les roches (K-40)

- ★ Détecteur blindé (Pb).
- ★ Simulation directe sources proches uniquement.
- ★ Fond Compton dominé par sources lointaines.



One thing to run them all?

