

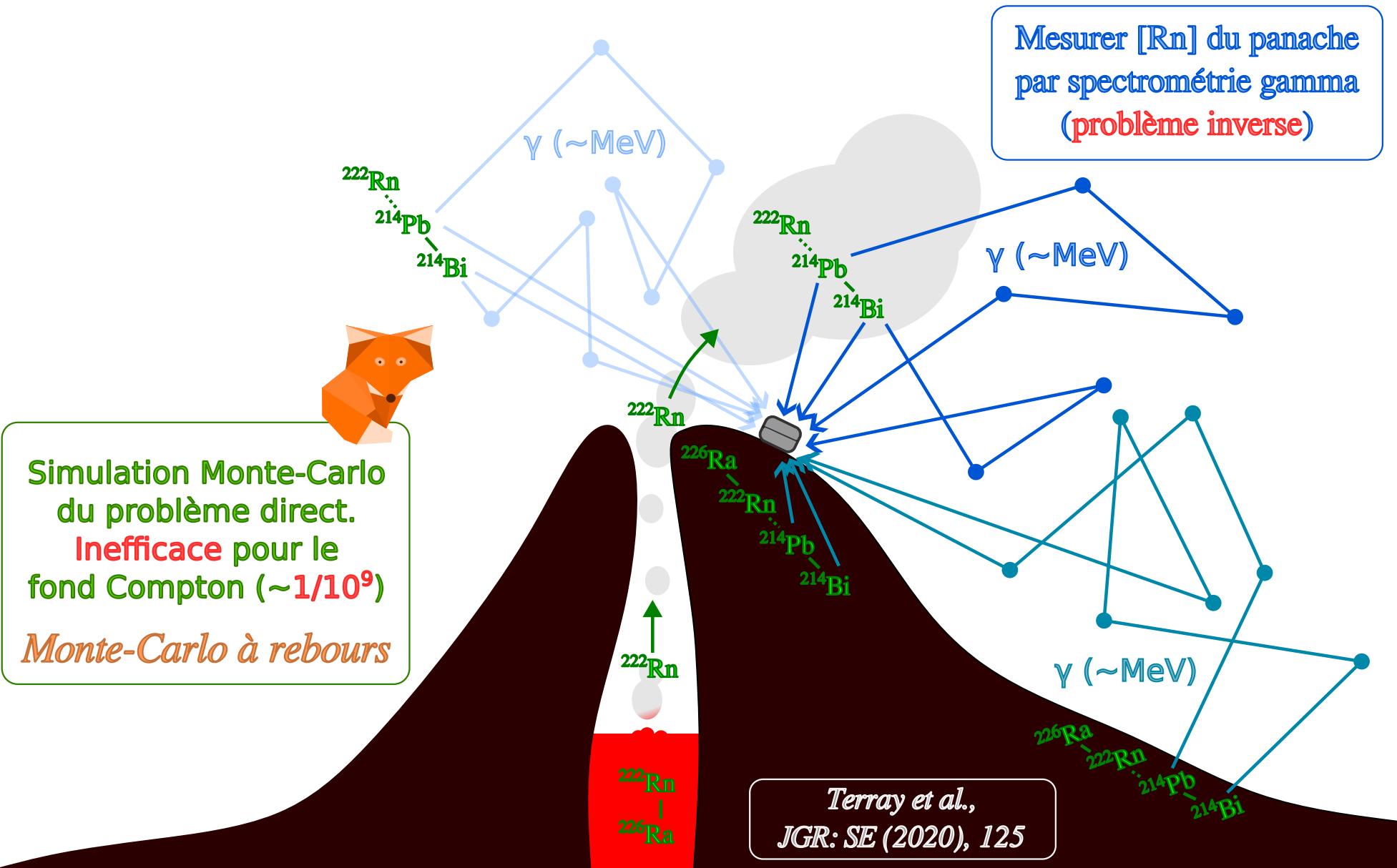


Goupil: présentation et applications

Valentin Niess*, Luca Terray

LPCA, 15/05/25

Contexte Géophysique



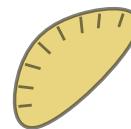
Goupil



- Goupil est un moteur de transport Monte-Carlo de rayons gamma de faible énergie (de l'ordre du MeV), typiquement issus d'isotopes radioactifs.
- Goupil dispose d'un mode de transport à rebours, permettant de maintenir une efficacité Monte-Carlo de ~ 1 pour des sources englobant le détecteur.
- Mais, Goupil ne simule pas le transport des électrons & positrons secondaires (biais de $\sim 1\%$ @ 511 keV).

Goupil peut grandement accélérer le transport des photons gamma au sein de l'environnement du détecteur ($x10^8$ dans l'air), mais ne permet pas de simuler la réponse de ce dernier.

Utilisation conjointe avec un moteur classique
Calzone (encapsulation de Geant4)



Interface, etc.



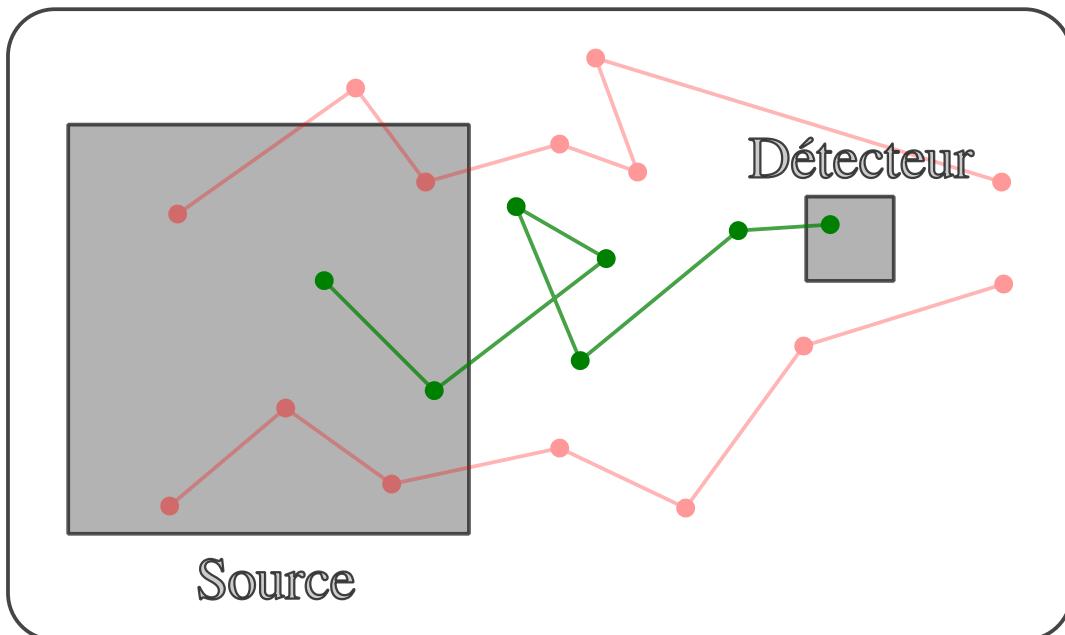
- Goupil est distribué sous la forme d'un module Python, les particules Monte-Carlo étant représentées par des tableaux NumPy.
- En fait, Goupil est implémenté en Rust. Seule l'interface utilisateur est en Python. Le code source est sur GitHub ([niess/goupil](https://github.com/niess/goupil)) sous licence LGPL-3.0.
- Goupil peut nativement rendre compte de géométries stratifiées décrites par des grilles de données (de type MNT).
- Goupil dispose également d'une interface de géométrie générique en C, incluant notamment un adaptateur à Geant4 (utilisé par Calzone).

Goupil dispose d'une documentation en ligne
(<https://goupil.readthedocs.io/>).

Le code source est accompagné d'exemples (en Python & C).
Les algorithmes & l'implémentation sont détaillés dans
Niess et al., CPC (2025) [arXiv:2412.02414].

Monte-Carlo à rebours

- Le Monte-Carlo à rebours est une méthode d'échantillonage préférentiel générant à rebours les trajectoires des particules.
- Pour autant, le Monte-Carlo à rebours n'est pas un renversement temporel du problème direct (car les trajectoires sont intrinsèquement stochastiques).



$$x_f = x_i - \lambda \ln \zeta$$



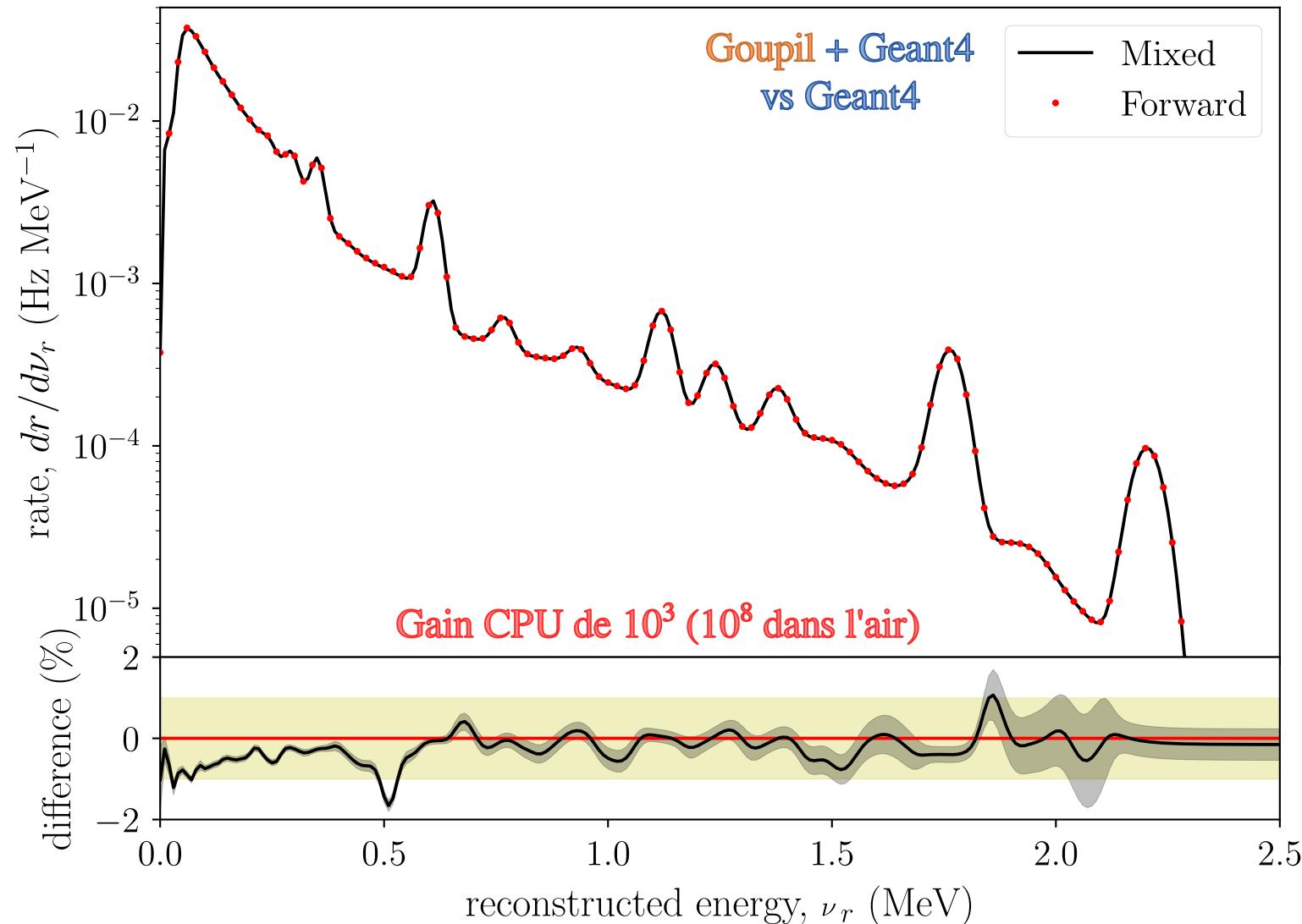
$$x_i = x_f + \lambda \ln \zeta$$

Les trajectoires Monte-Carlo (à rebours) sont nécessairement pondérées.

Validation

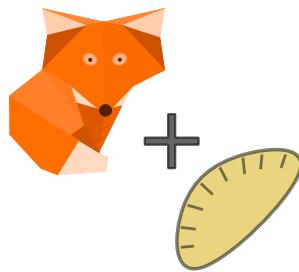


Détecteur cylindrique [7.6 cm x 7.6 cm NaI(Tl)],
immergé dans de l'eau contenant du Rn [1 Bq/m³].

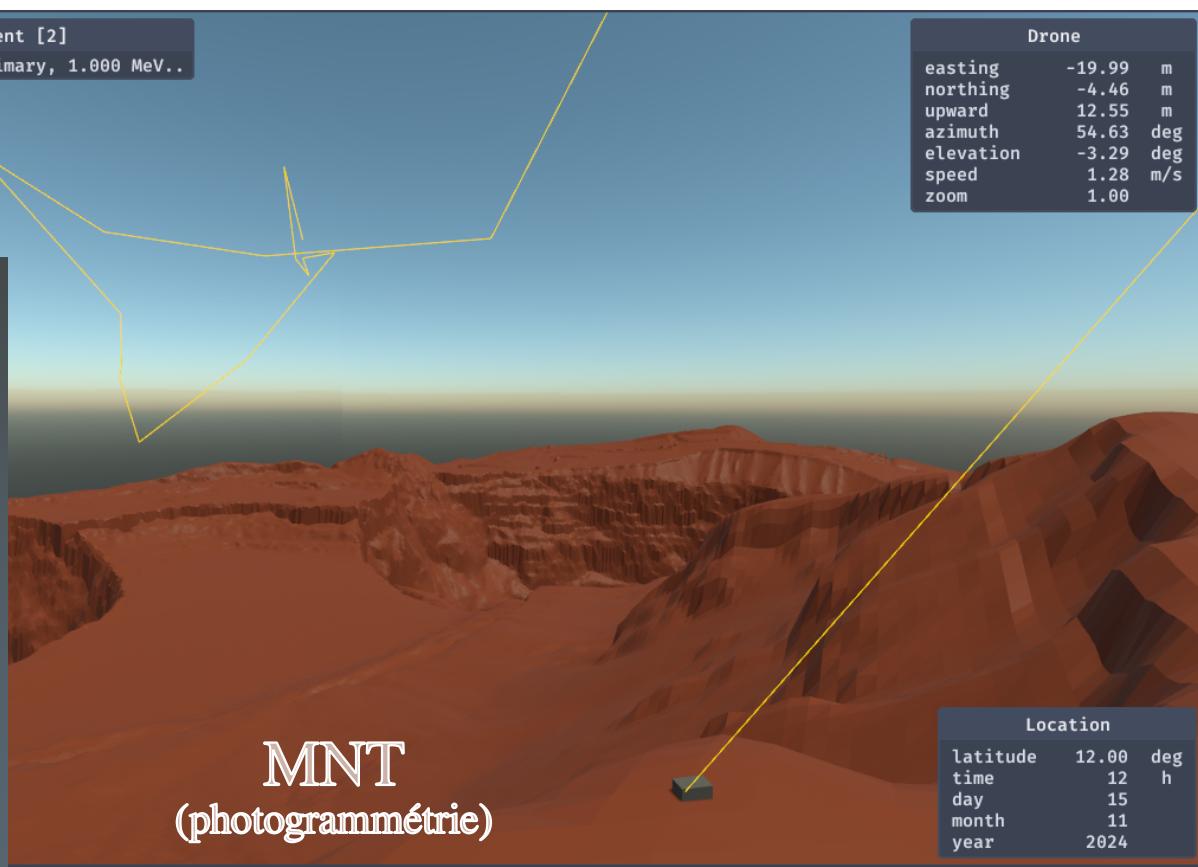
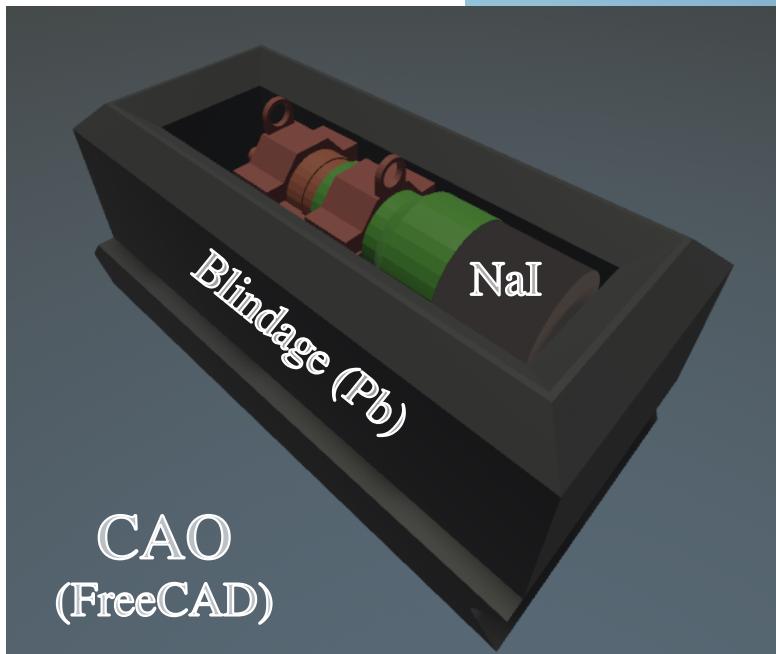


Campagne du Masaya (2022)

- Tessellation du détecteur (données CAO) et de la topographie (MNT).
- Simulation hybride utilisant Calzone [niess/calzone] et Goupil.

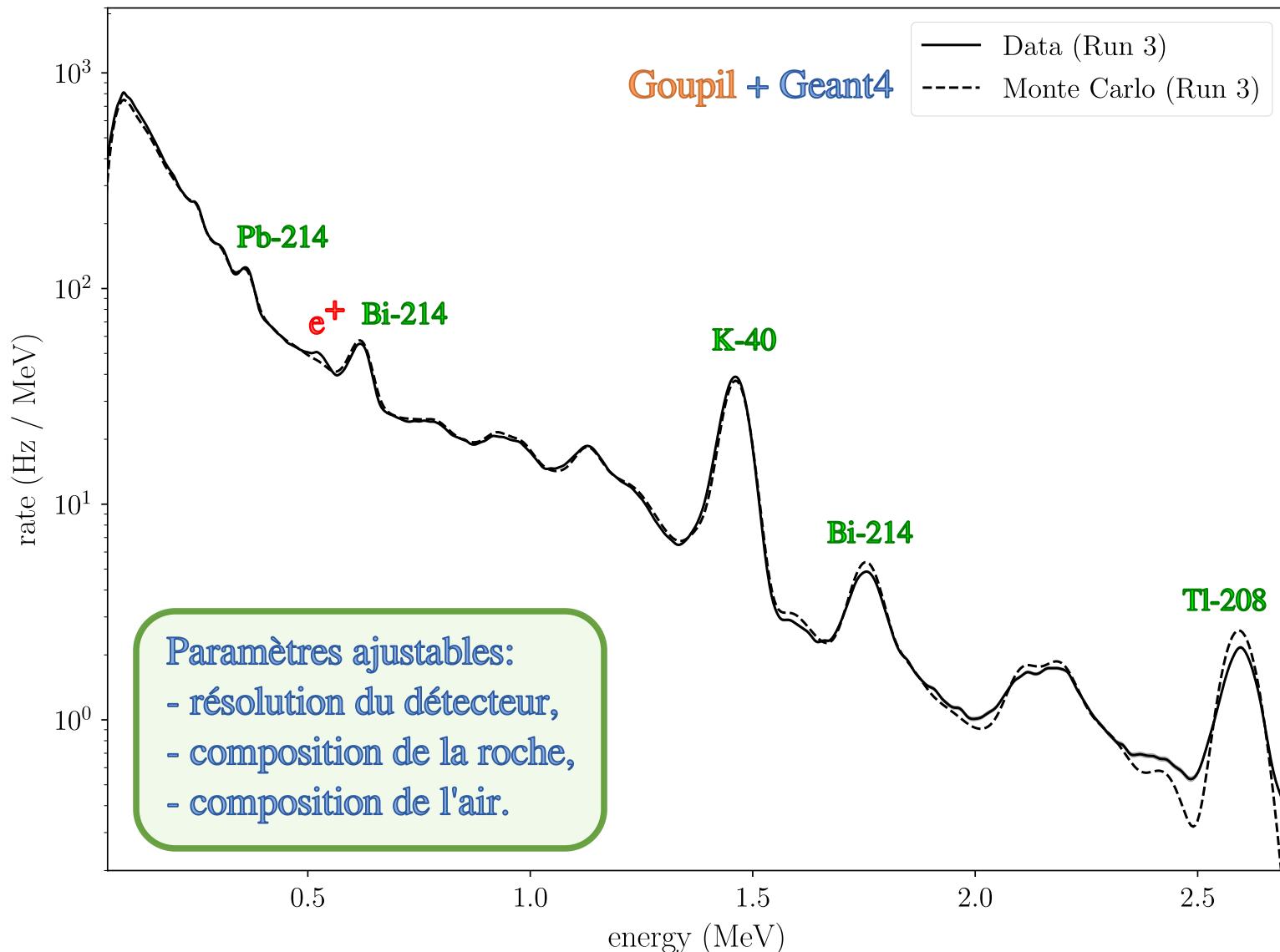


Exemple d'événement hybride (Calzone + Goupil) [niess/calzone-display]



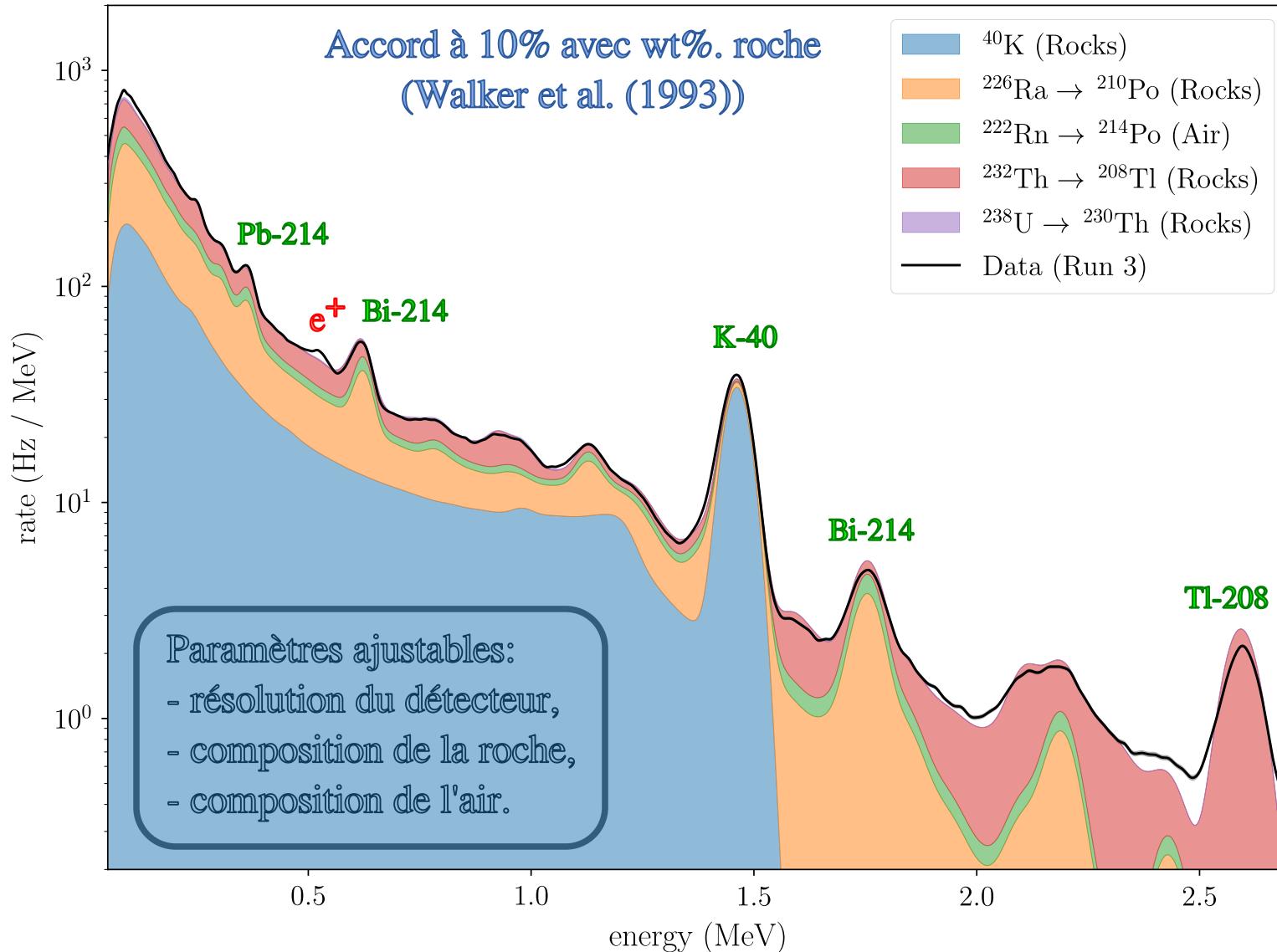
Comparaison aux données

Campagne du Masaya (sans blindage)



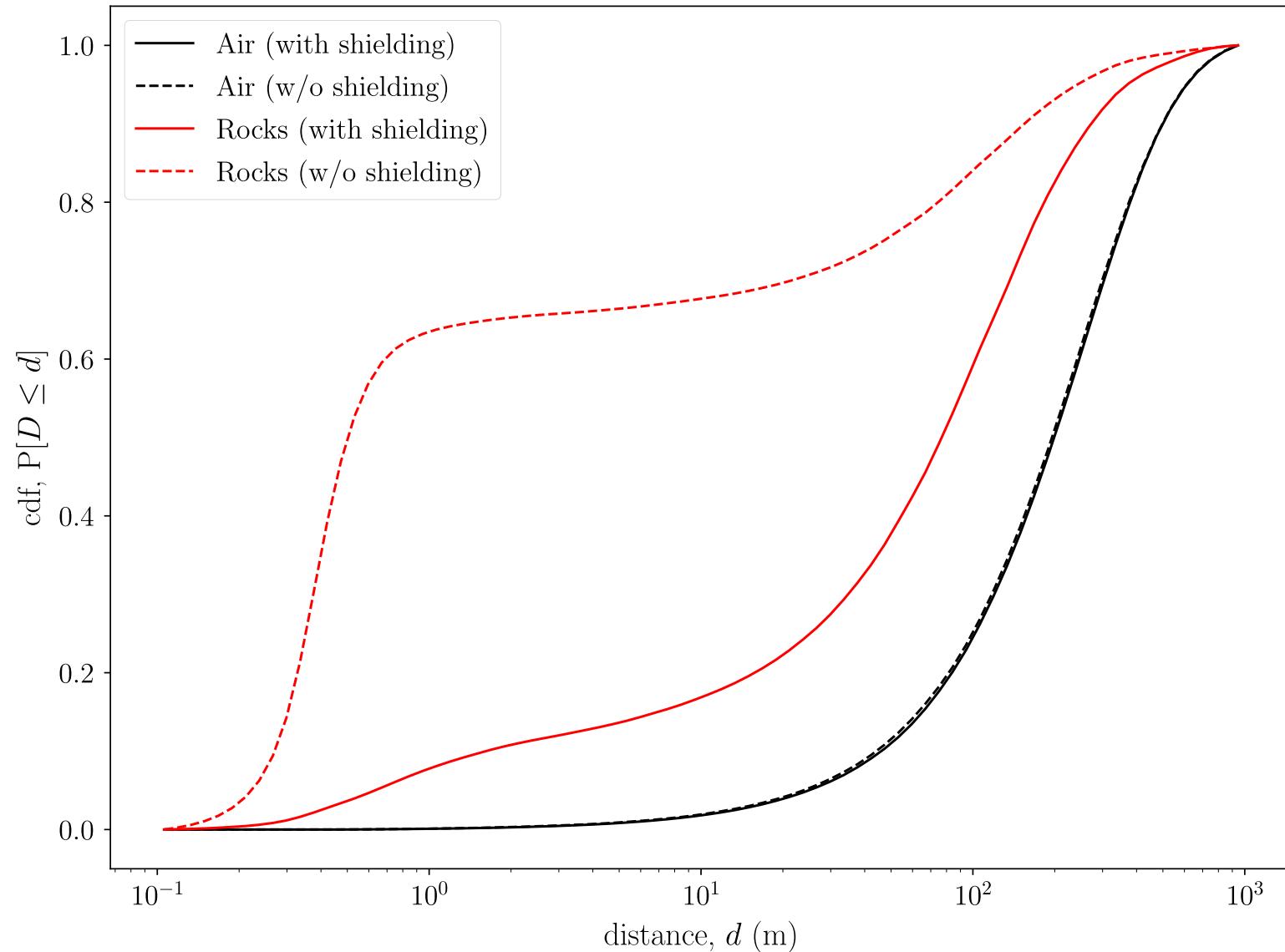
Contribution des sources

Campagne du Masaya (sans blindage)



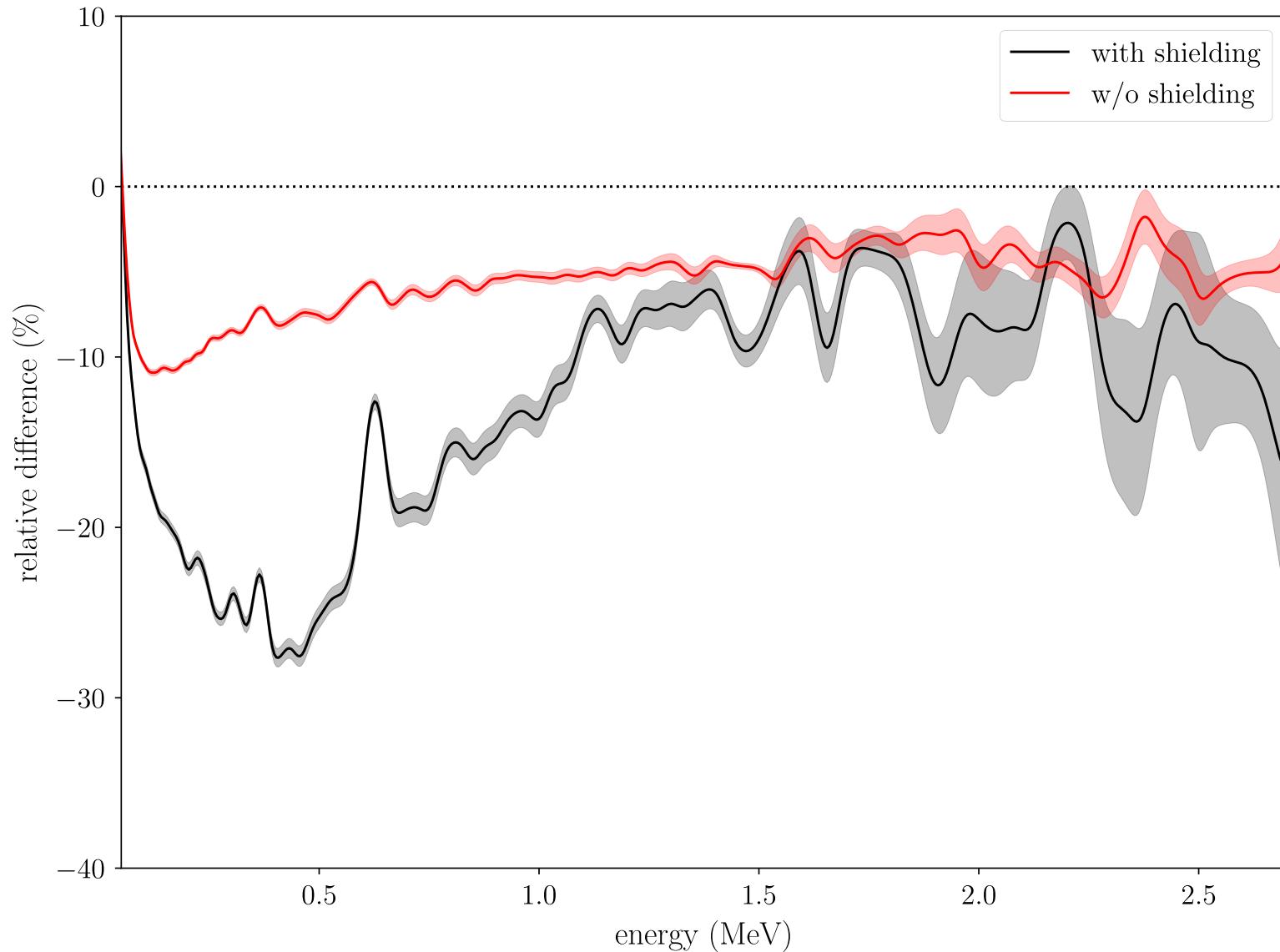
Origine des photons

Avec blindage, les photons détectés sont essentiellement associés à des sources distantes (~ 100 m).



Effet de la topographie

Différence relative à un sol plat



Conclusion



- Goupil est un outil permettant de réduire efficacement un ensemble de sources distribuées au sein de l'environnement à un flux entrant sur le détecteur.
- Goupil permet ainsi de simuler précisément le fond Compton (~1%), en tenant compte de la topographie de l'environnement (~30%).

Goupil est utilisable conjointement avec Calzone (ou directement Geant4) afin de simuler la réponse du détecteur

