

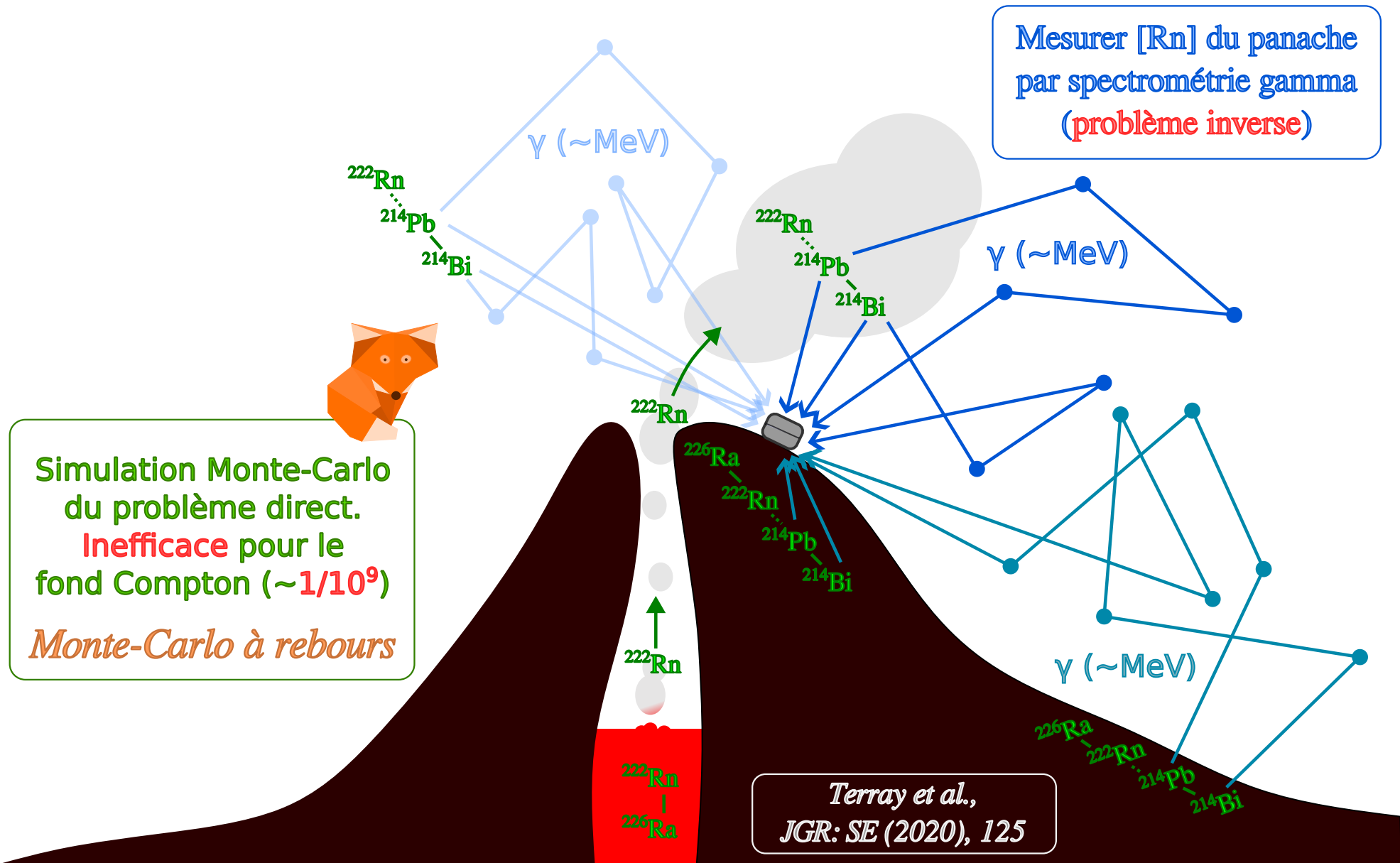


Goupil: présentation et applications

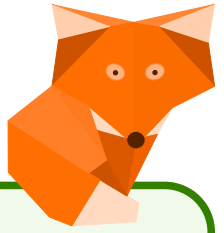
Valentin Niess*, Luca Terray

LPCA, 15/05/25

Contexte Géophysique



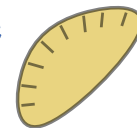
Goupil



- **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 ($\times 10^8$ 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*) 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/>).

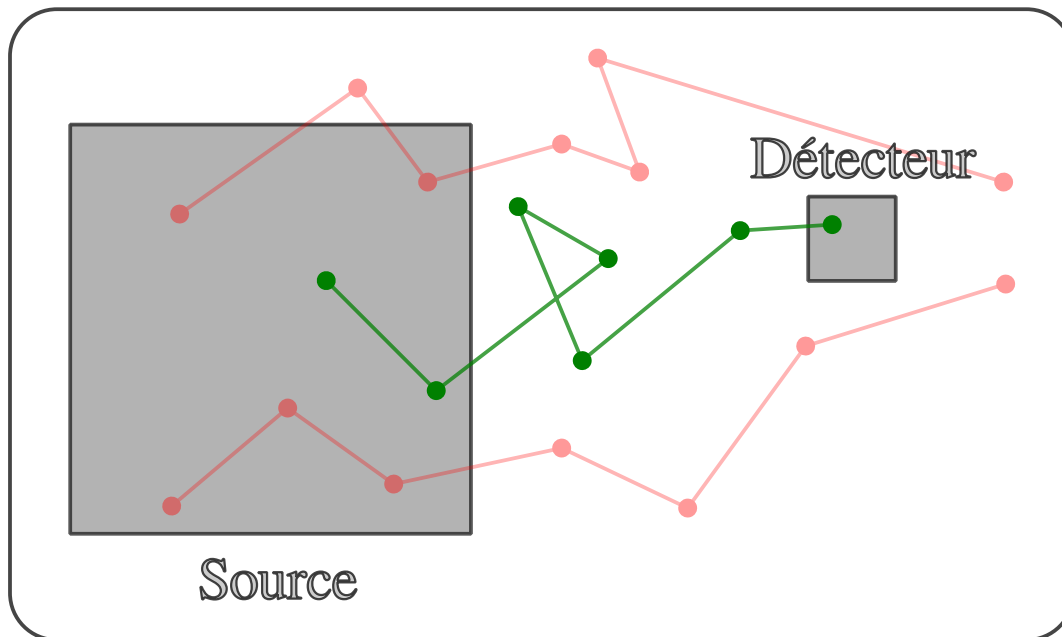
Le code source est accompagné d'exemples (en Python & C).

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'échantillonnage 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 intrinséquement stochastiques).



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



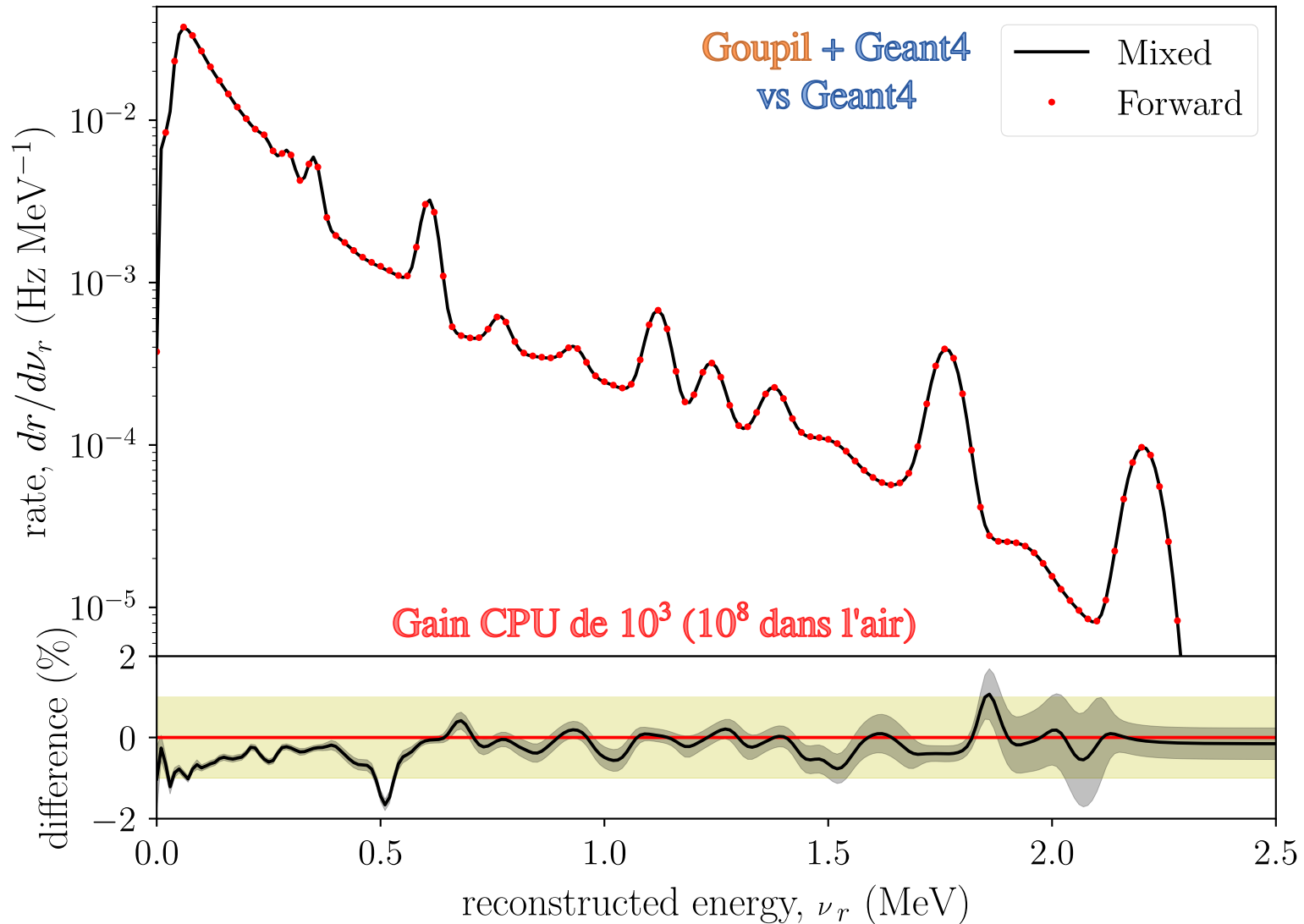
$$x_i = x_f + \lambda \ln \zeta$$

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

Validation

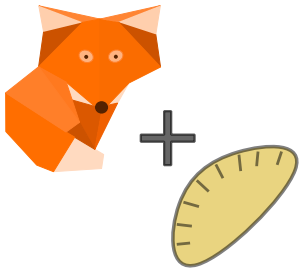


*Détecteur cylindrique [7.6 cm x 7.6 cm NaI(Tl)],
immergé dans de l'eau contenant du Rn [1 Bq/m³].*

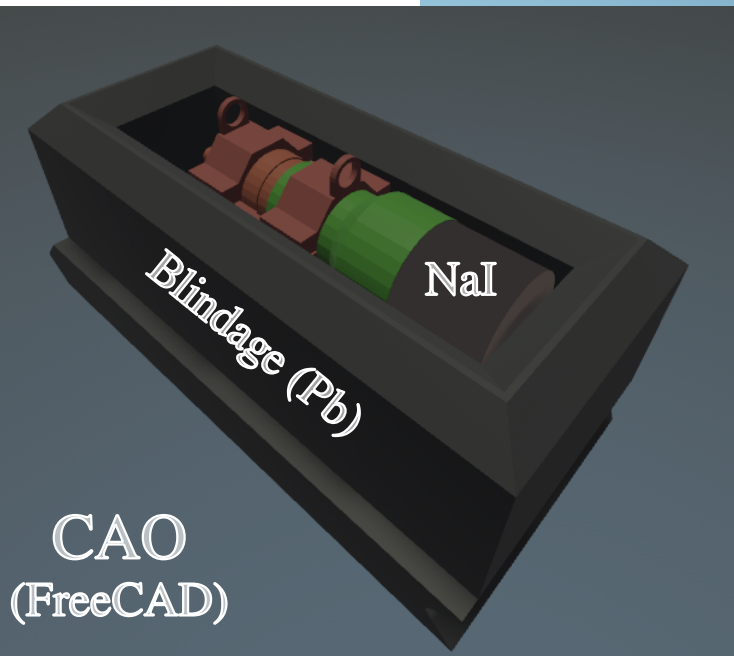
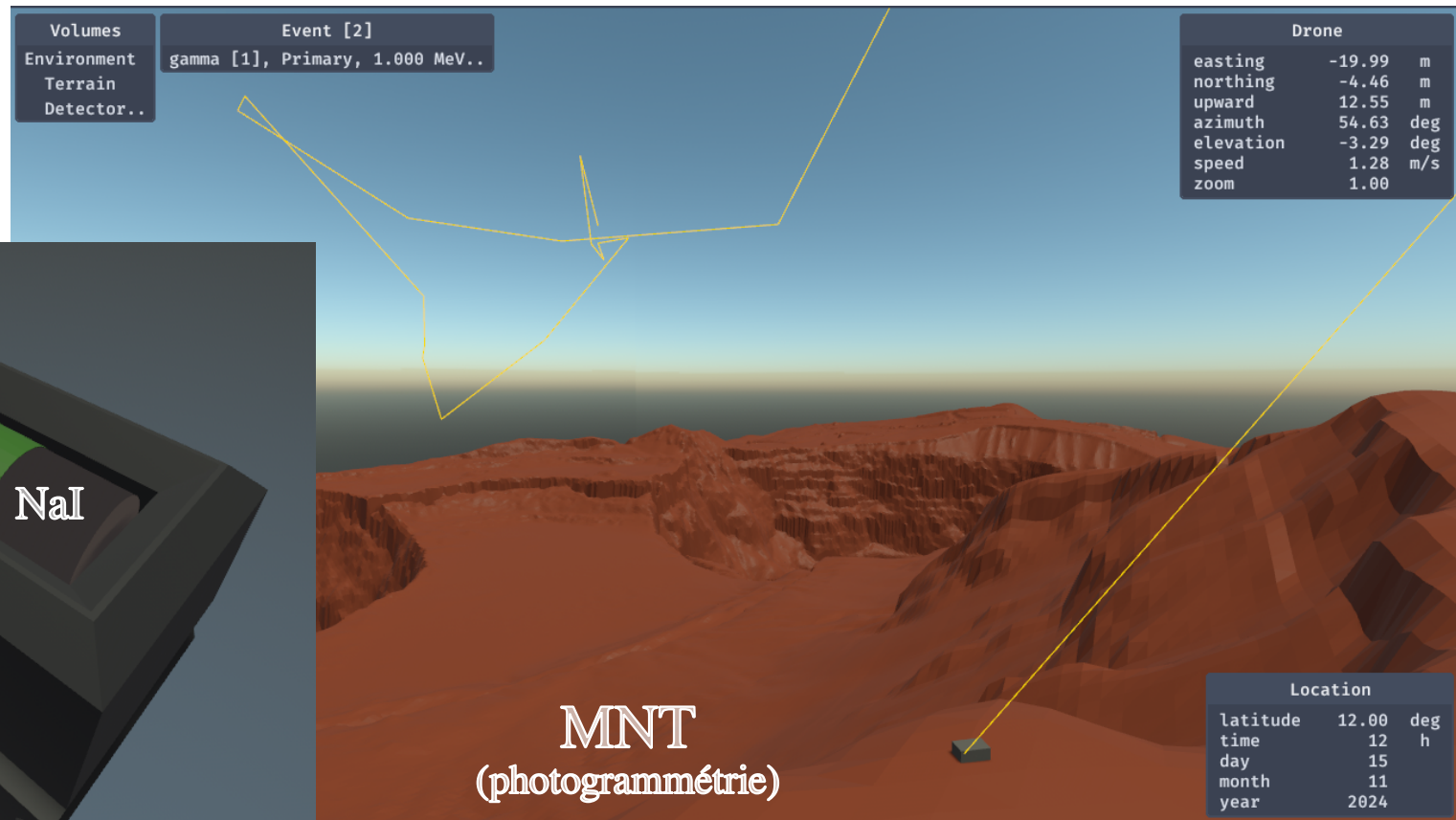


Campagne du Masaya (2022)

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

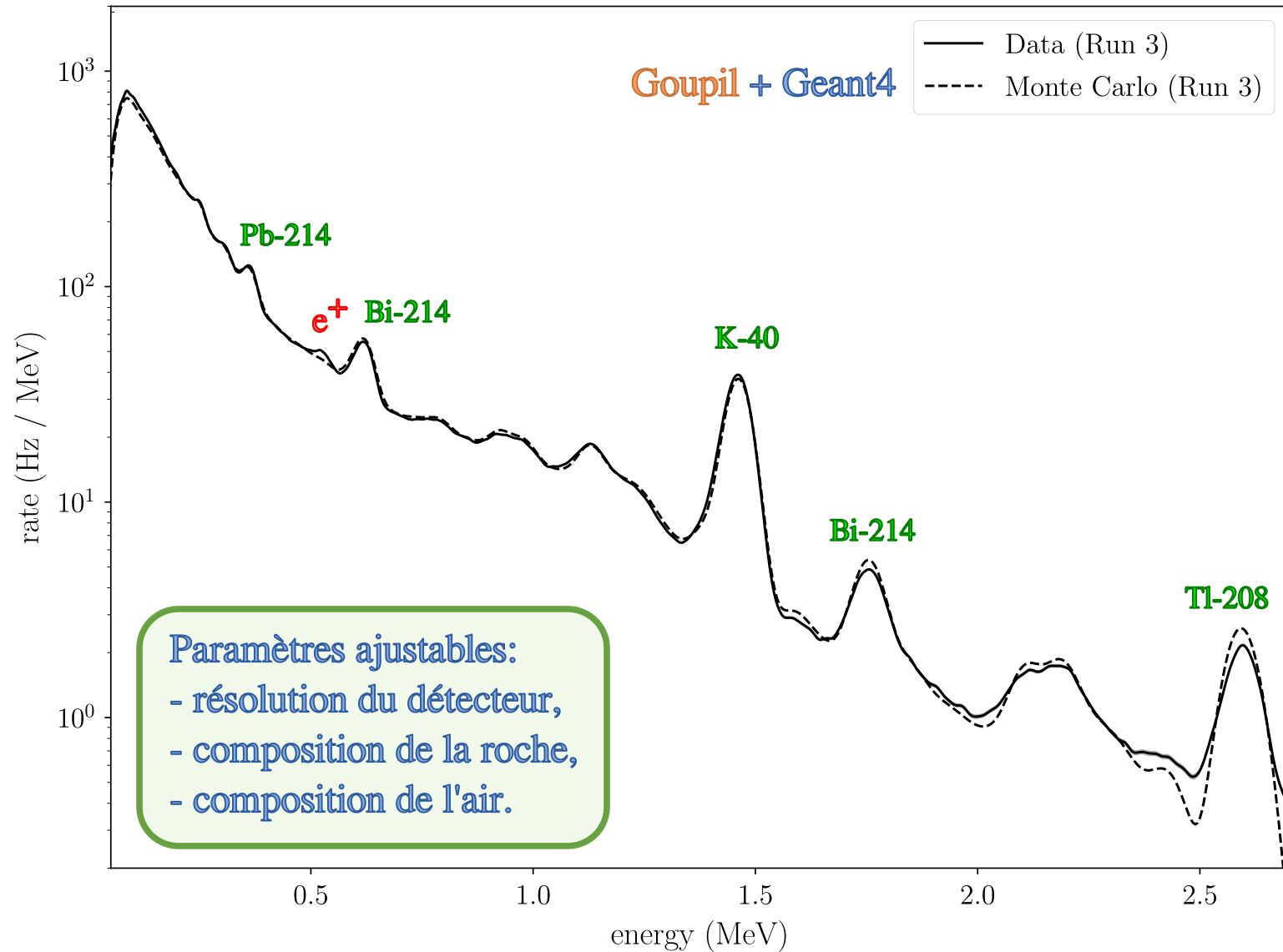


Exemple d'événement hybride (Calzone + Goupil) [niess/calzone-display]



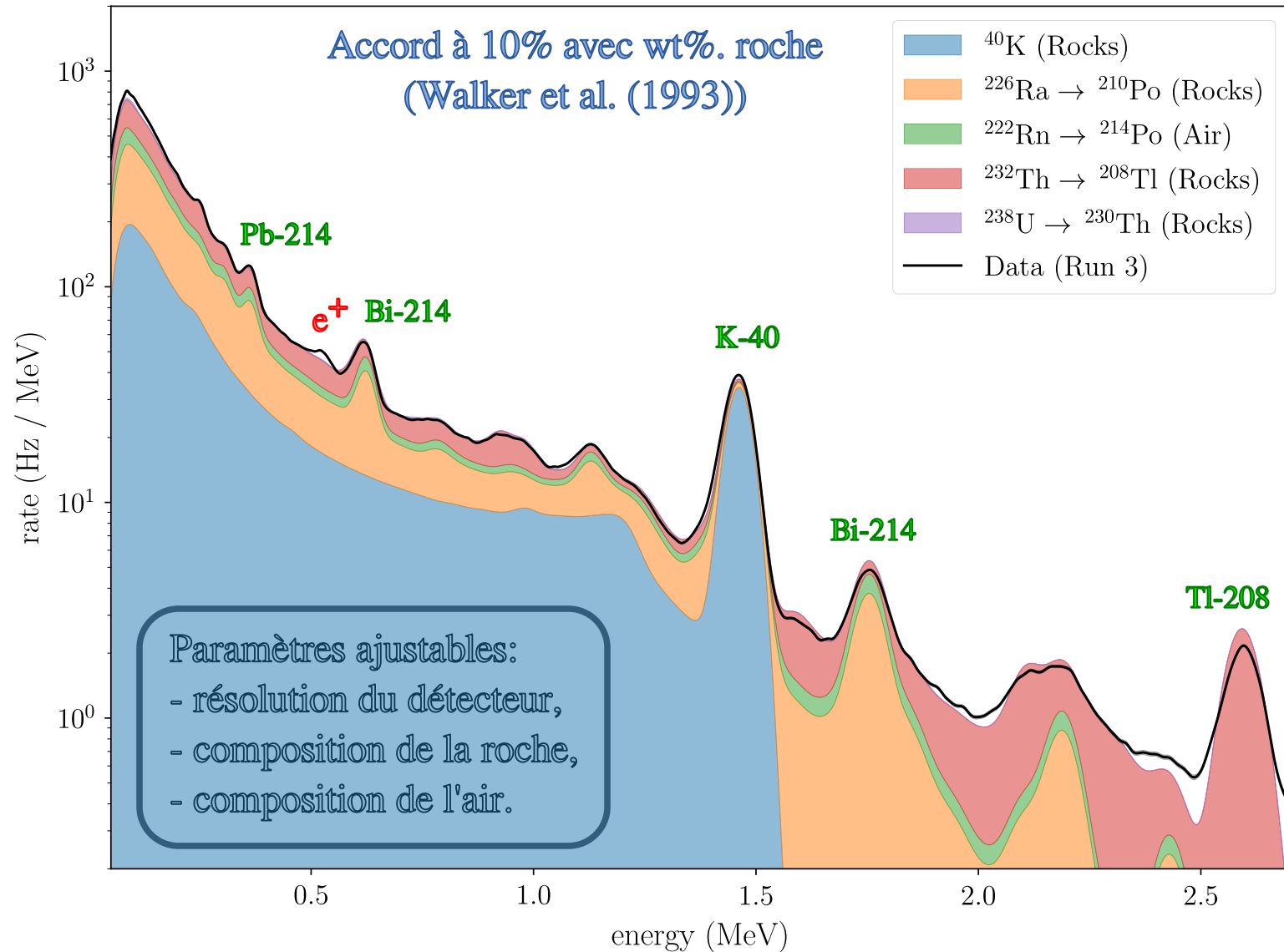
Comparaison aux données

Campagne du Masaya (sans blindage)



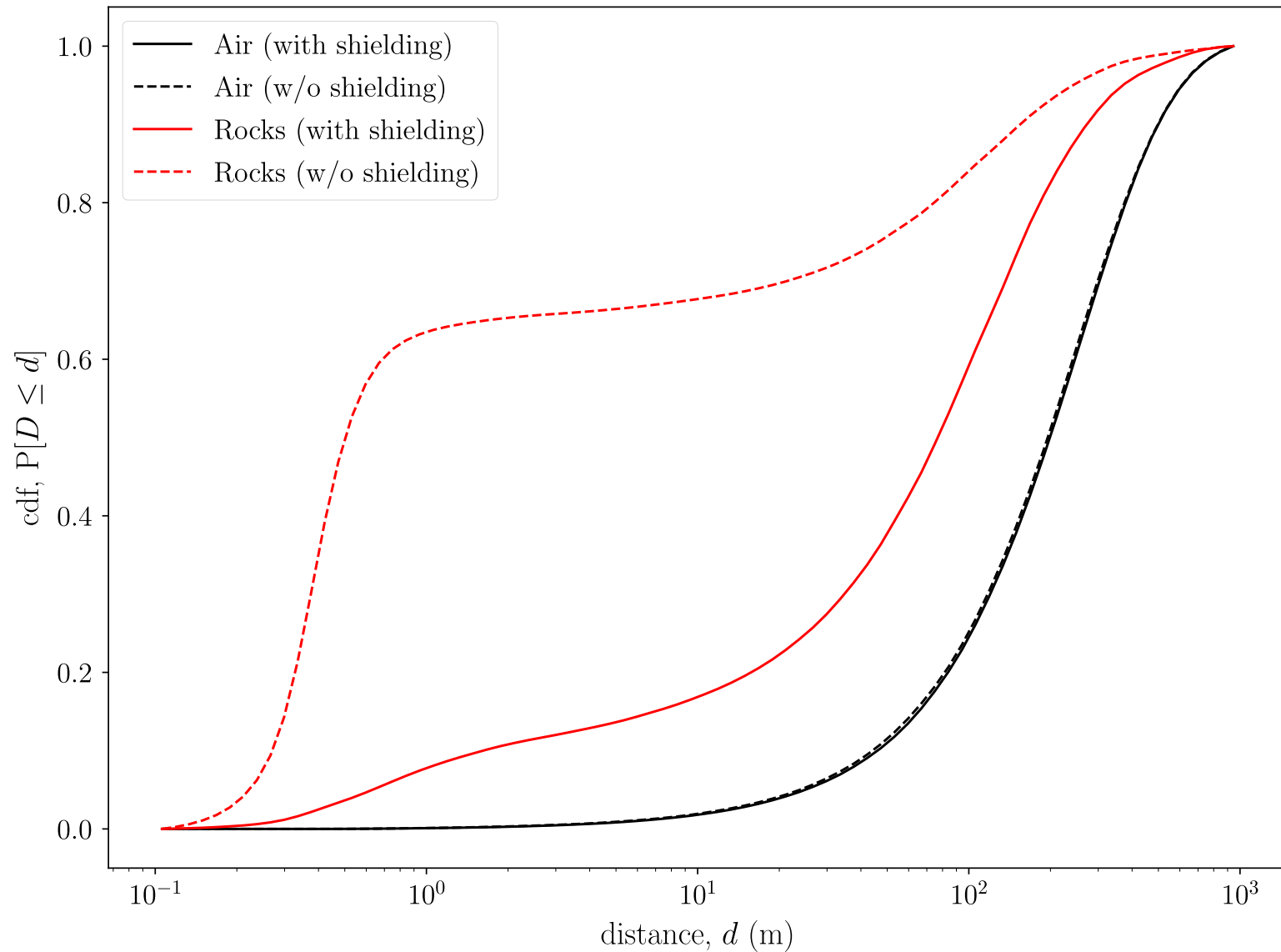
Contribution des sources

Campagne du Masaya (sans blindage)



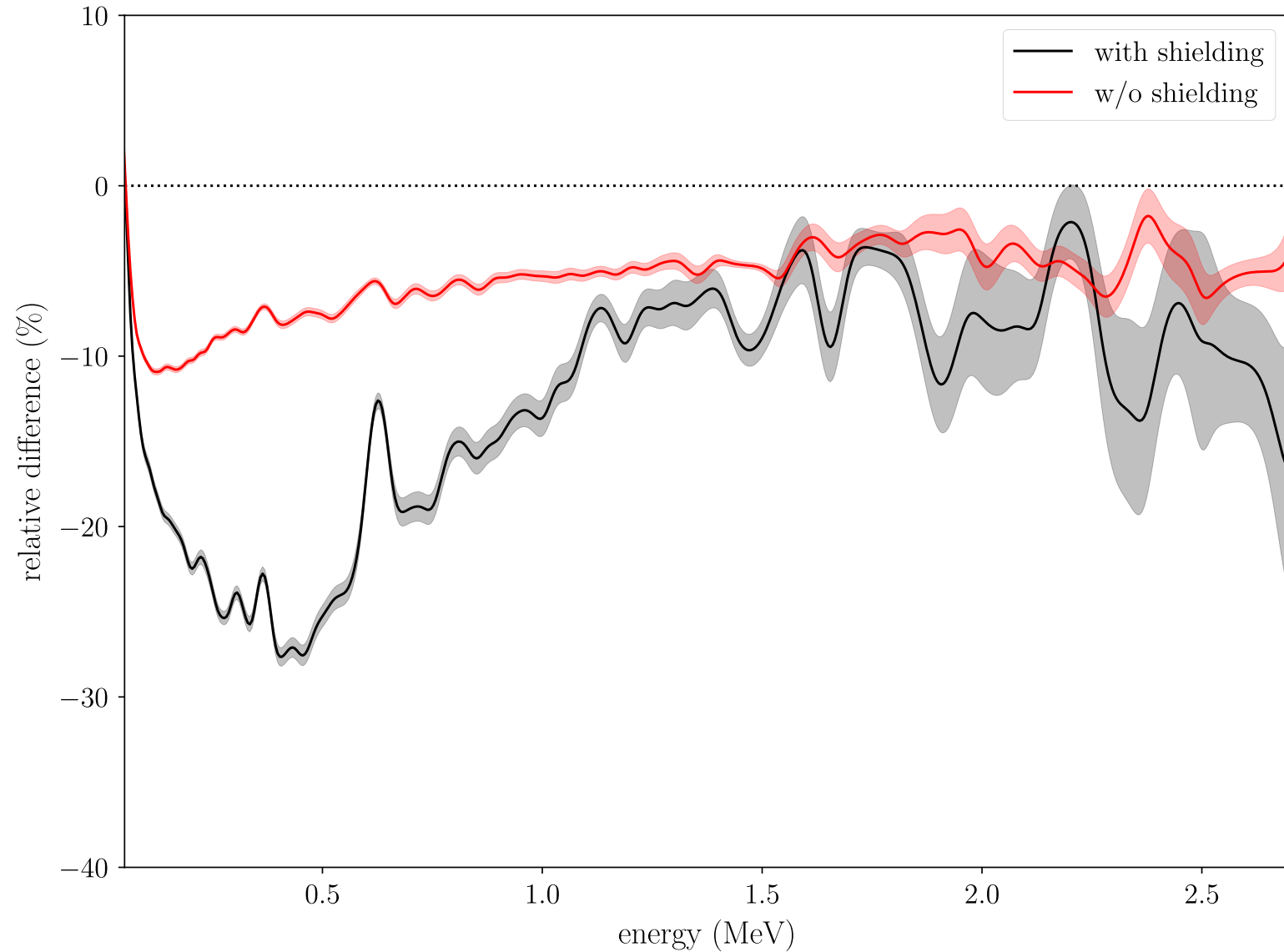
Origine des photons

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

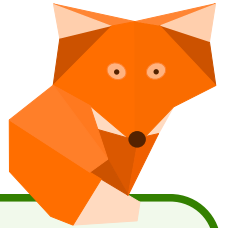


Effet de la topographie

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** ($\sim 1\%$), en tenant compte de la **topographie** de l'environnement ($\sim 30\%$).

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

