



LSCE

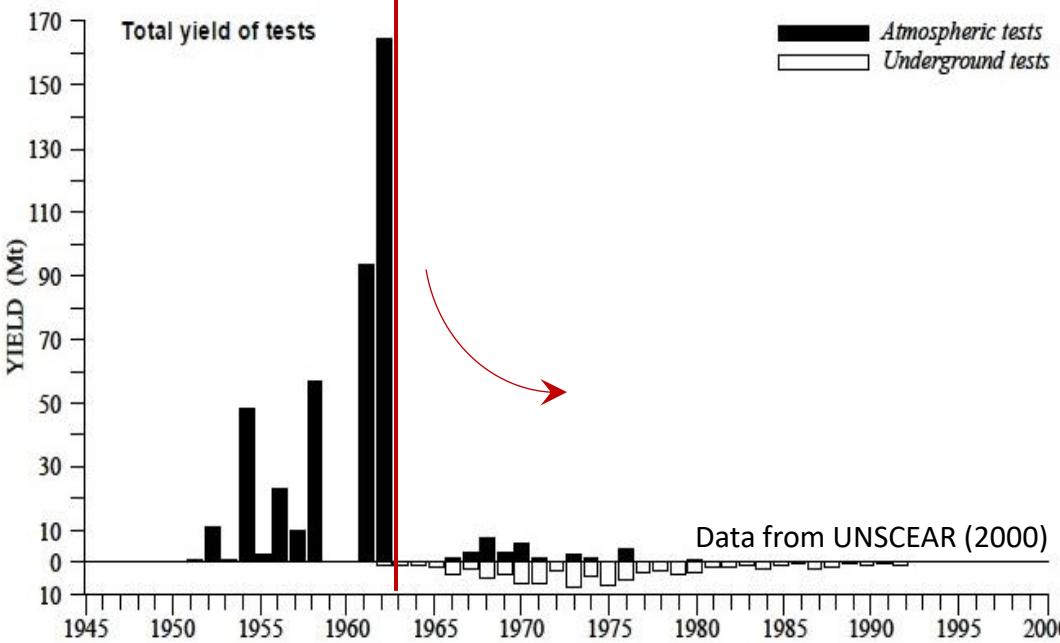
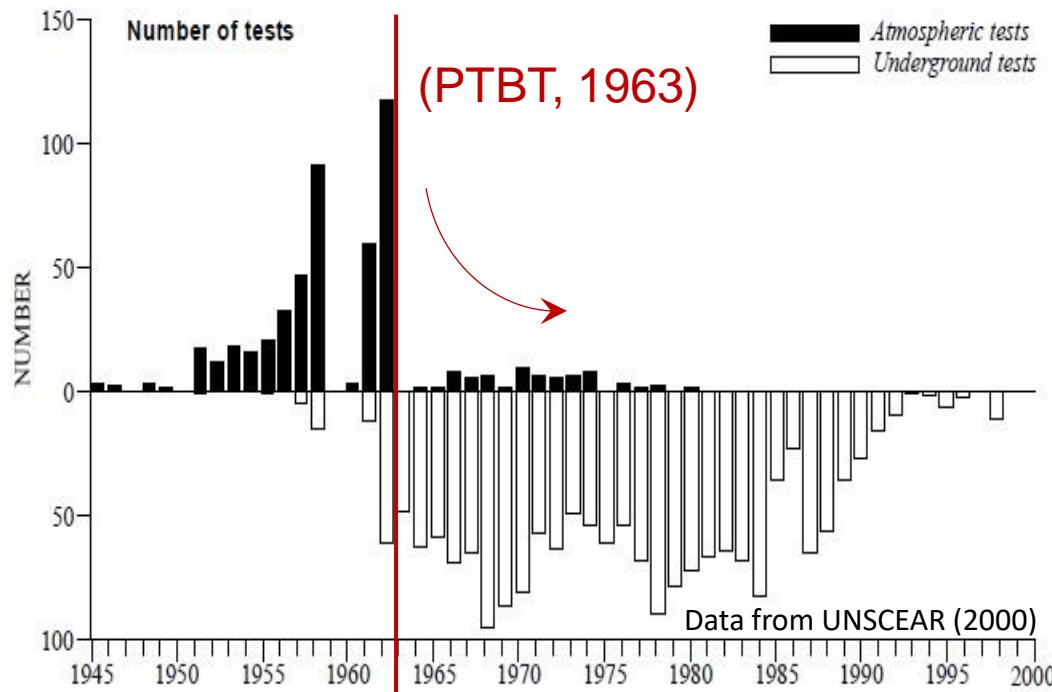


Reconstruction des retombées atmosphériques de ^{137}Cs à l'échelle des bassins versants

Pierre-Alexis Chaboche et Olivier Evrard



Colloque de restitution final du projet ANR TRAJECTOIRE (2020-2025)
Auditorium de l'ASNR de Fontenay Aux Roses
Mercredi 11 juin 2025



1945 - 1980

Plus de 500 essais nucléaires atmosphériques

Deux principales phases d'essais

- 1952 - 1958
- 1961 - 1962

➤ **Retombées globales de ^{137}Cs**

1963 :

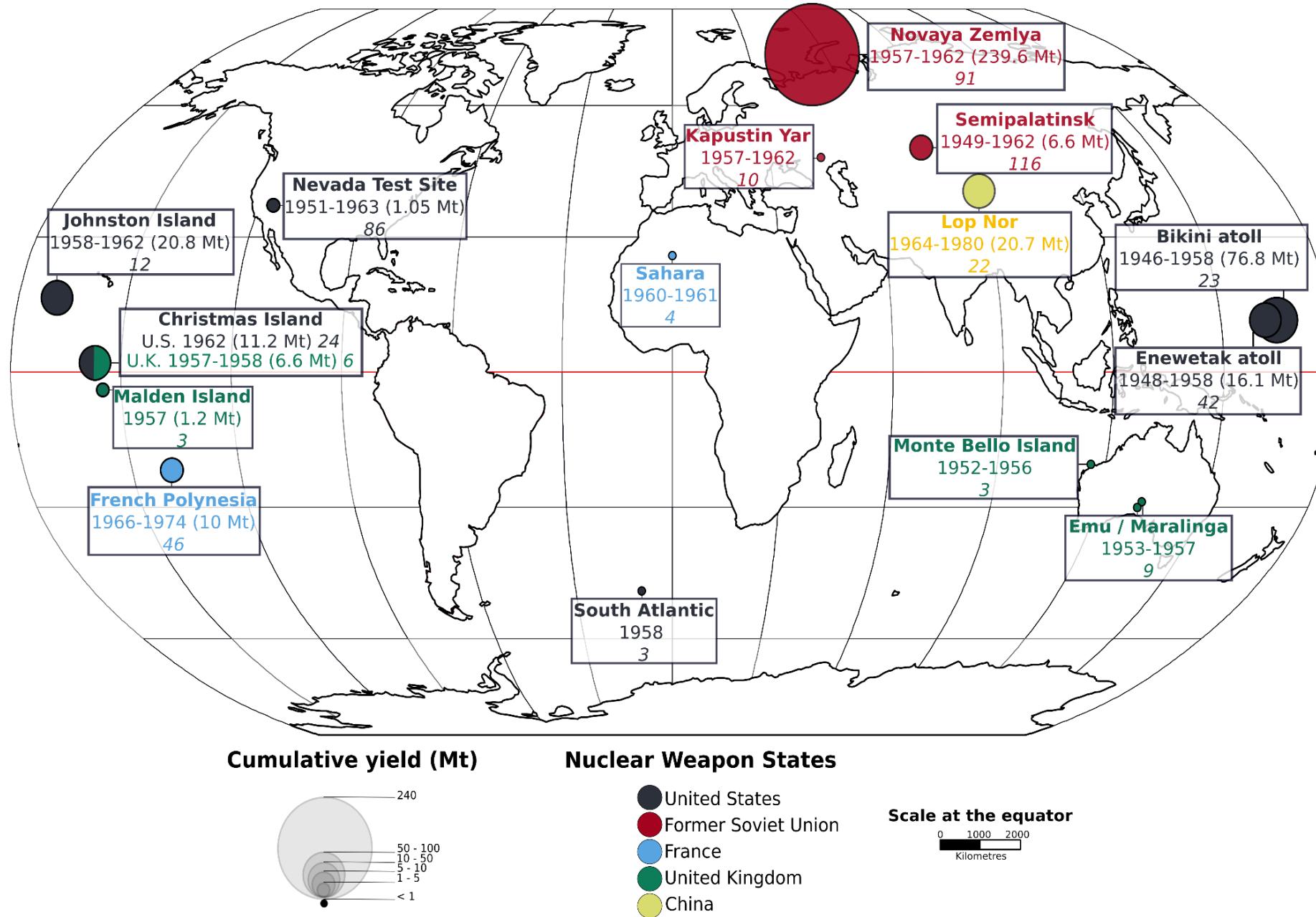
Traité d'interdiction partielle des essais nucléaires (PTBT)

➤ **Diminution des émissions et des retombées de ^{137}Cs**

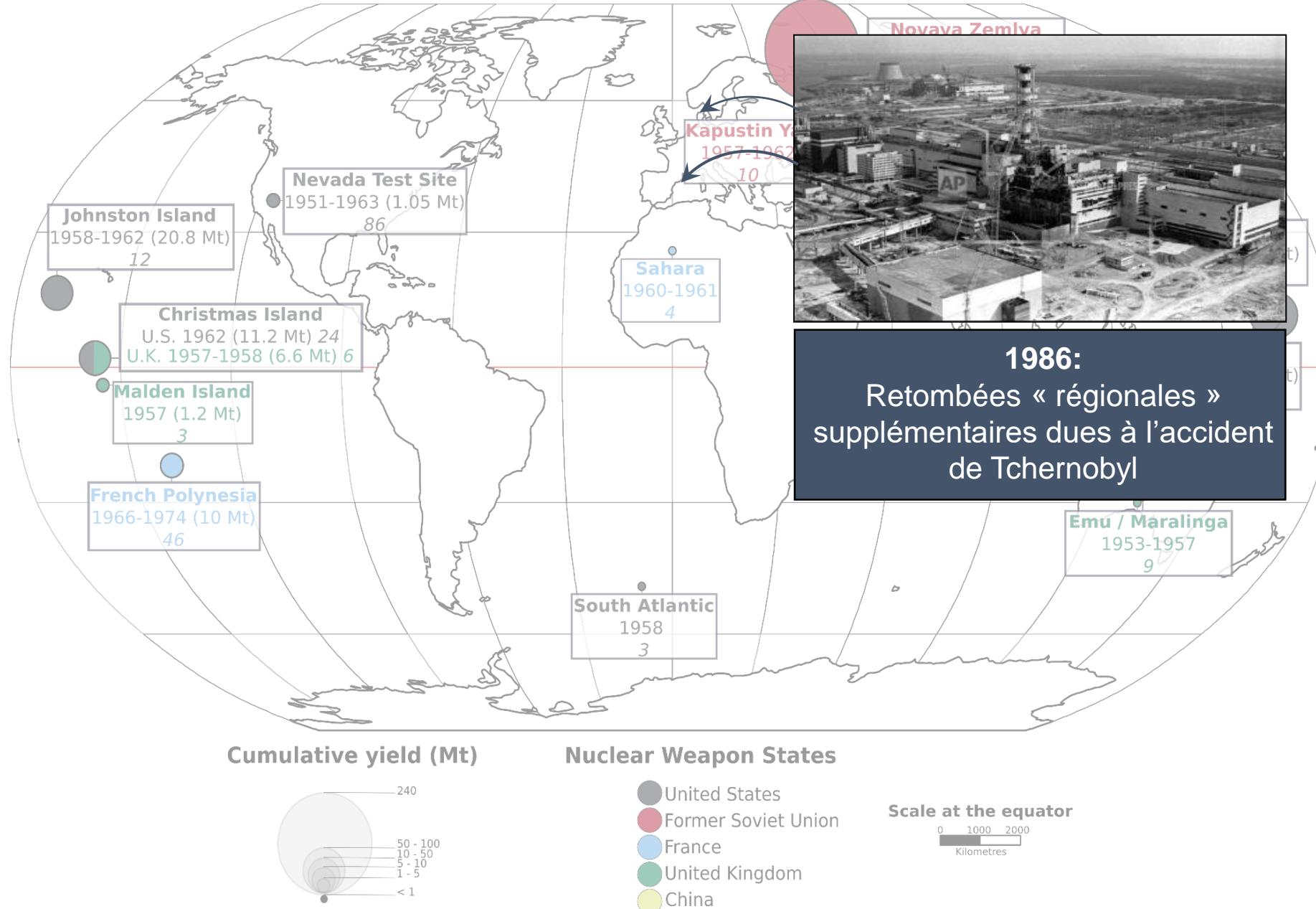
10/1980 :

Dernier essai atmosphérique recensé (Chine)

Répartition spatiale des essais atmosphériques (1945 – 1980)



Accident de Tchernobyl (1986)

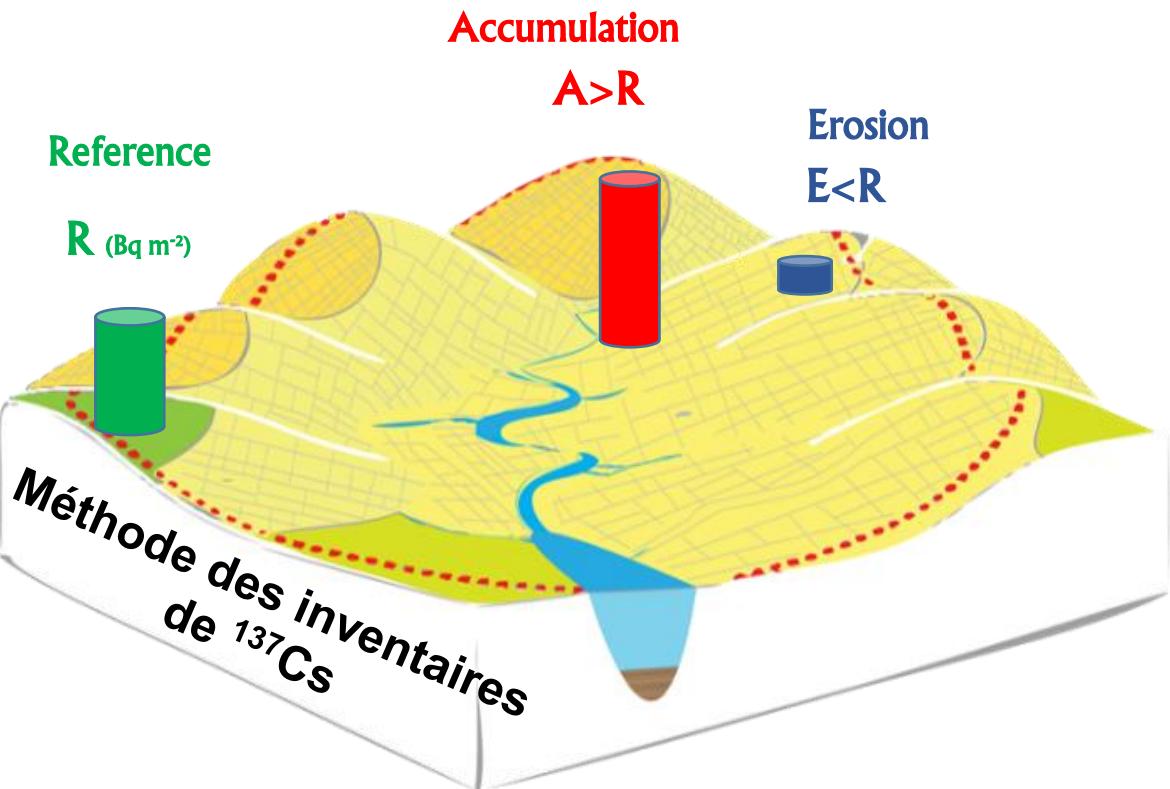


Utilisation des radionucléides des retombées (FRNs) pour estimer les taux de redistribution des sols



Caesium-137 (^{137}Cs)

- ✓ Associé aux particules fines
- ✓ Traceur des transferts latéraux et verticaux
- ✓ Période radioactive relativement longue (30 ans)
- ✓ Études rétrospectives et spatialement distribuées des taux de redistribution des sols

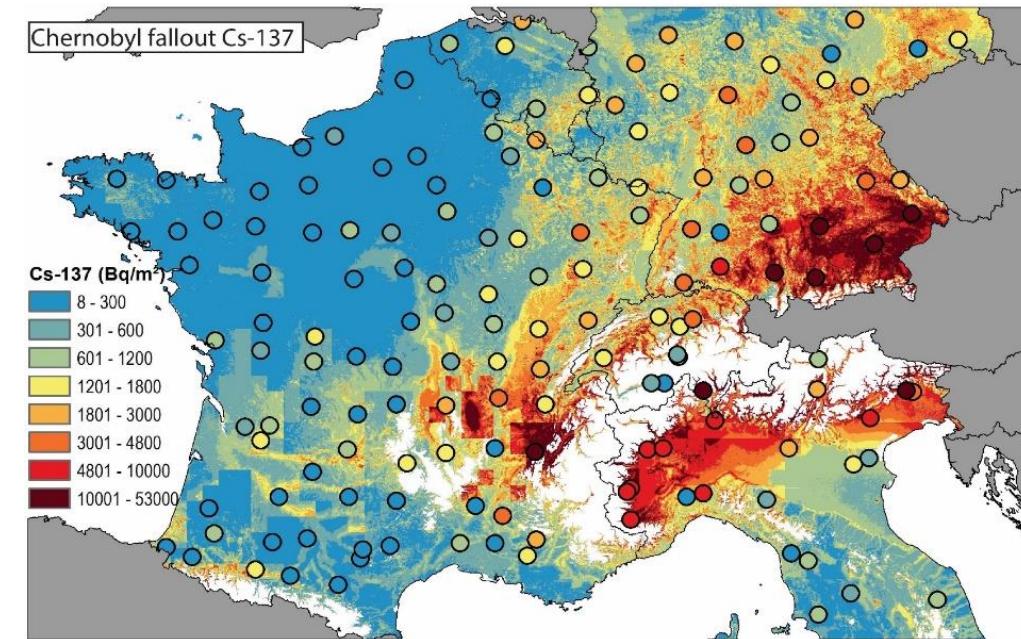
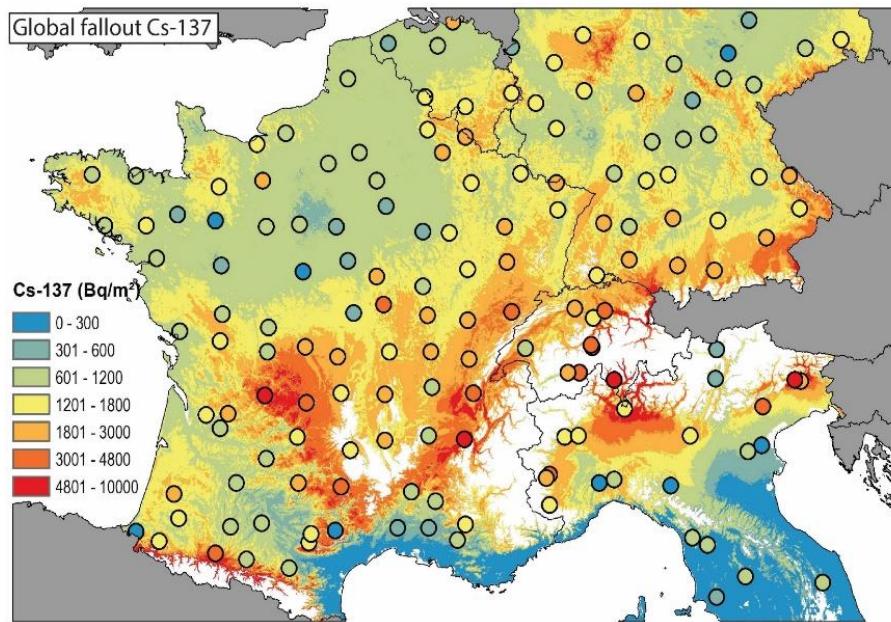


Site de référence?

- Profils de sols non perturbés, sans érosion ni accumulation depuis le début des retombées radioactives (années 1950).
- Approche indirecte pour reconstituer les retombées de ^{137}Cs liées aux essais nucléaires.

Reconstitution des retombées annuelles de ^{137}Cs (1945 – 1986) dans les bassins versants français

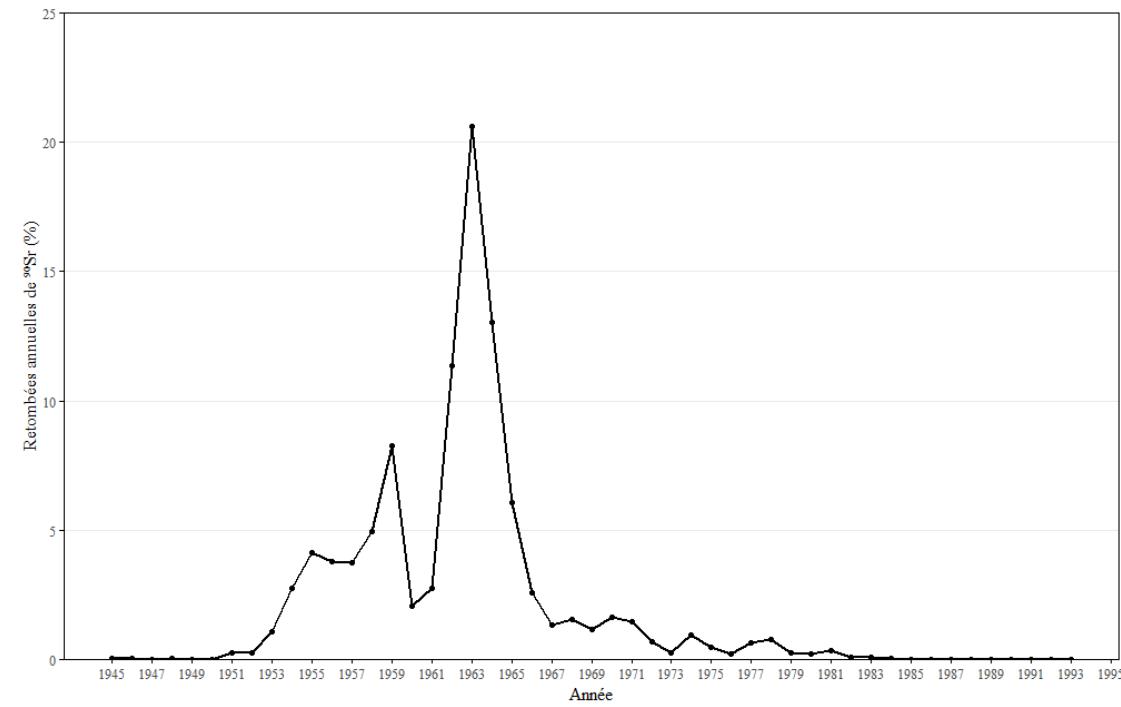
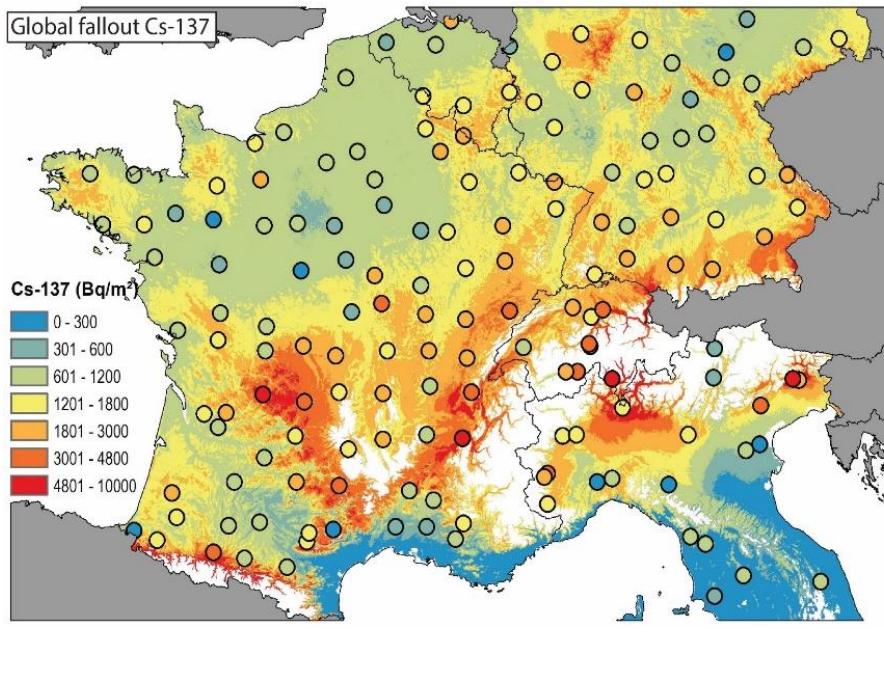
Meusburger et al. (2020) : Plutonium aided reconstruction of caesium atmospheric fallout in European topsoils ». *Scientific reports* 10(1): 11858



- Mesures des activités en $^{239+240}\text{Pu}$ et de ^{137}Cs dans des sites de référence (0–20 cm), prélevés dans le cadre de la campagne Land Use/Cover Area frame Survey (LUCAS).
- Des modèles additifs généralisés (Generalized Additive Models, GAM), intégrant des facteurs environnementaux (précipitations, latitude, altitude, etc.) utilisés pour spatialiser les retombées de FRN.
- Activités corrigées de la décroissance radioactive en 2009.

Reconstitution des retombées annuelles de ^{137}Cs (1945 – 1986) dans les bassins versants français

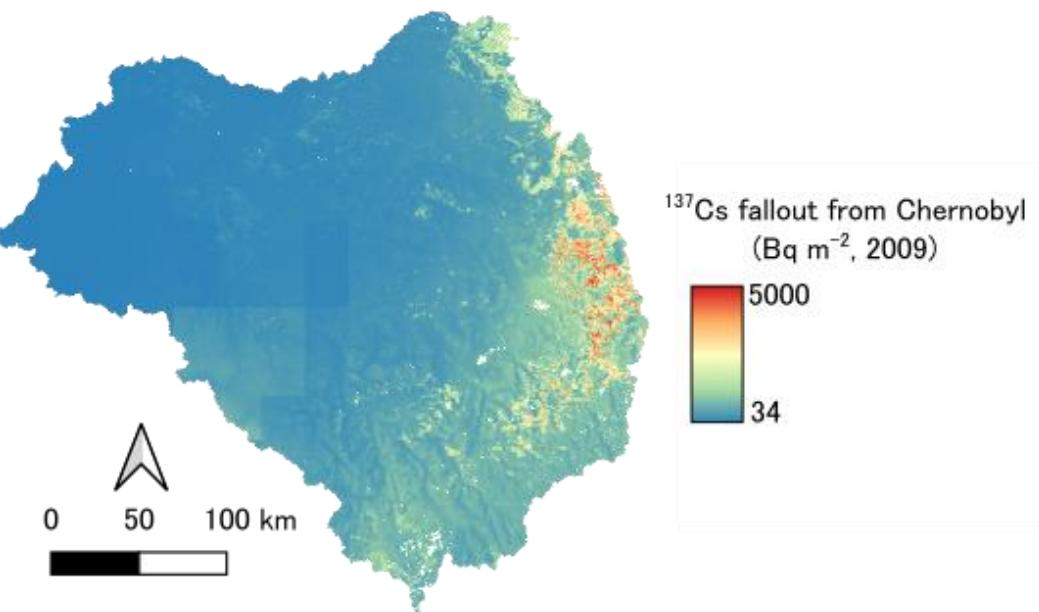
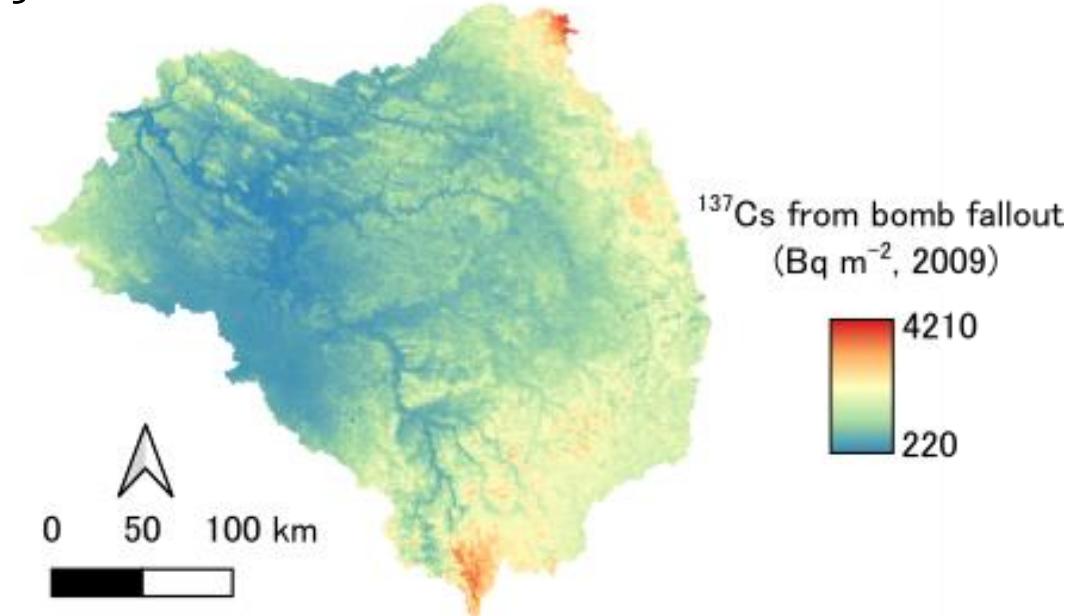
Meusburger et al. (2020) : Plutonium aided reconstruction of caesium atmospheric fallout in European topsoils ». *Scientific reports* 10(1): 11858



- UNSCEAR (2000): Données disponibles sur les quantités annuelles de dépôt hémisphérique (en PBq) de ^{90}Sr produites par les essais nucléaires atmosphériques (40-50°N).
- **HYPOTHÈSE :** Retombées de ^{137}Cs = retombées de ^{90}Sr , avec un ratio de rendement de fission $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ égal à 1,5.

Reconstitution des retombées annuelles de ^{137}Cs (1945 – 1986) dans les bassins versants français

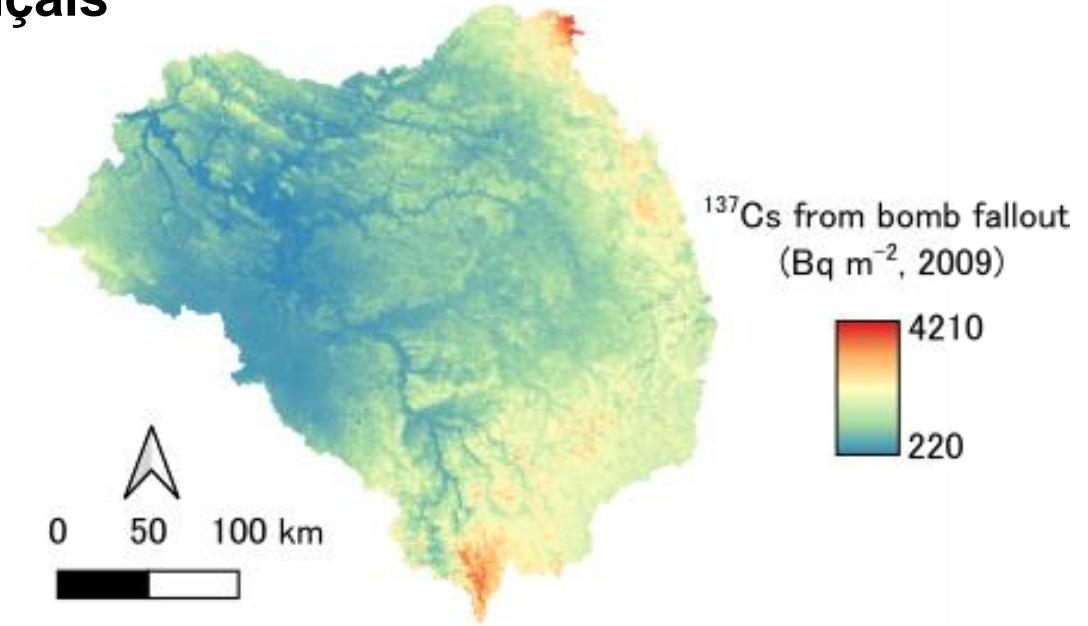
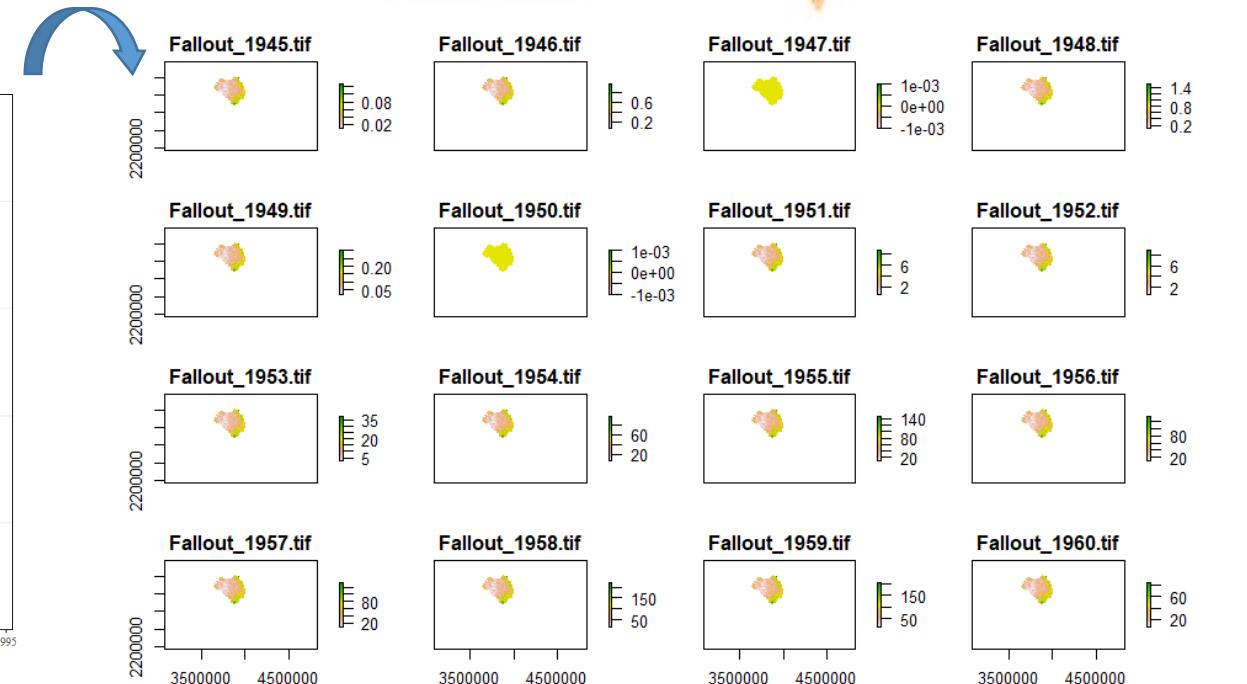
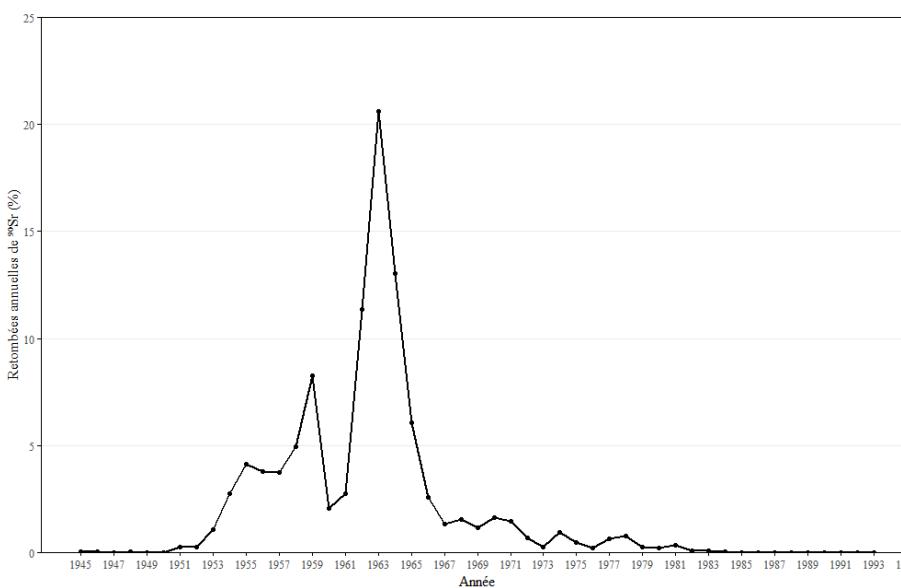
1. Extraction des inventaires de ^{137}Cs issus des retombées globales et de Tchernobyl pour chaque bassin versant



Reconstitution des retombées annuelles de ^{137}Cs (1945 – 1986) dans les bassins versants français

1. Extraction des inventaires de ^{137}Cs issus des retombées globales et de Tchernobyl pour chaque bassin versant

2. Utilisation de la chronique « UNSCEAR » pour recalculer les inventaires de ^{137}Cs (1945 - 1986)

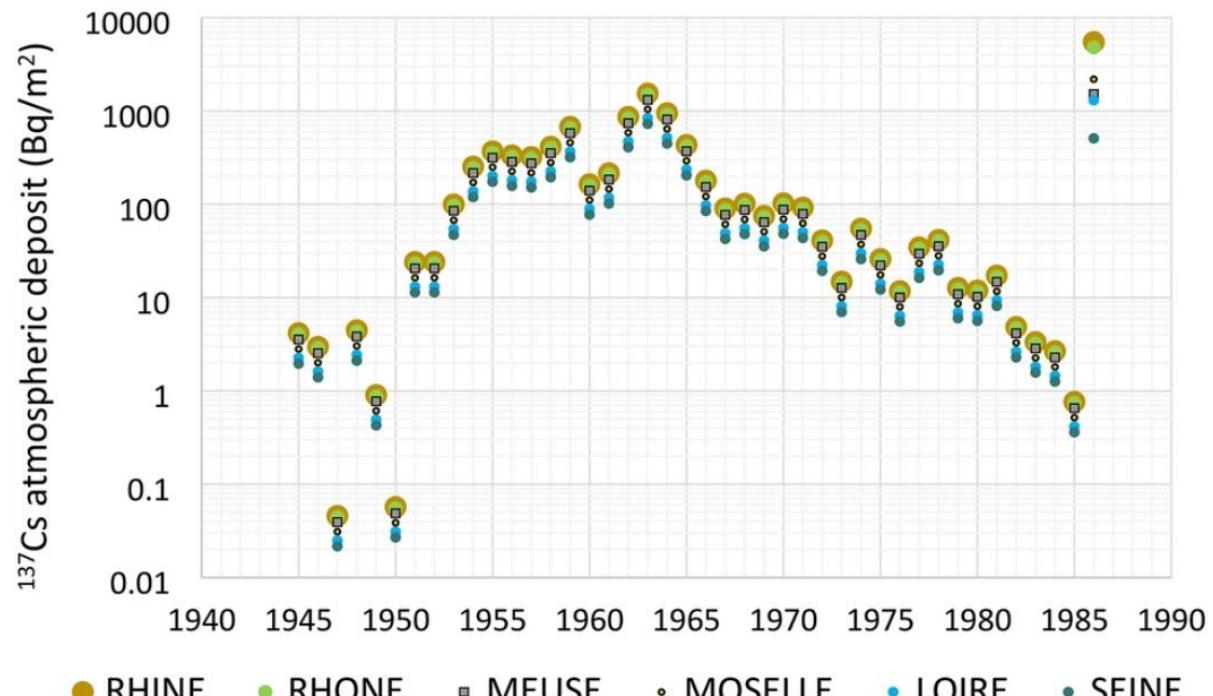


Reconstitution des retombées annuelles de ^{137}Cs (1945 – 1986) dans les bassins versants français

1. Extraction des inventaires de ^{137}Cs issus des retombées globales et de Tchernobyl pour chaque bassin versant

2. Utilisation de la chronique « UNSCEAR » pour recalculer les inventaires de ^{137}Cs (1945 - 1986)

3. Calcul de l'inventaire moyen de ^{137}Cs pour chaque année et chaque bassin versant

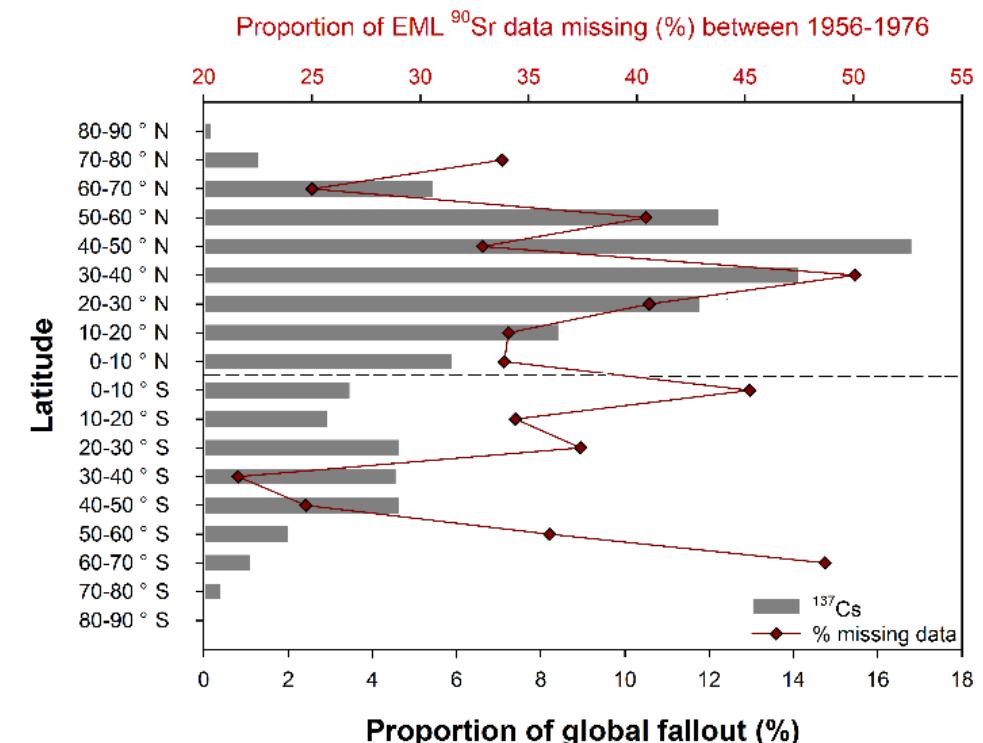
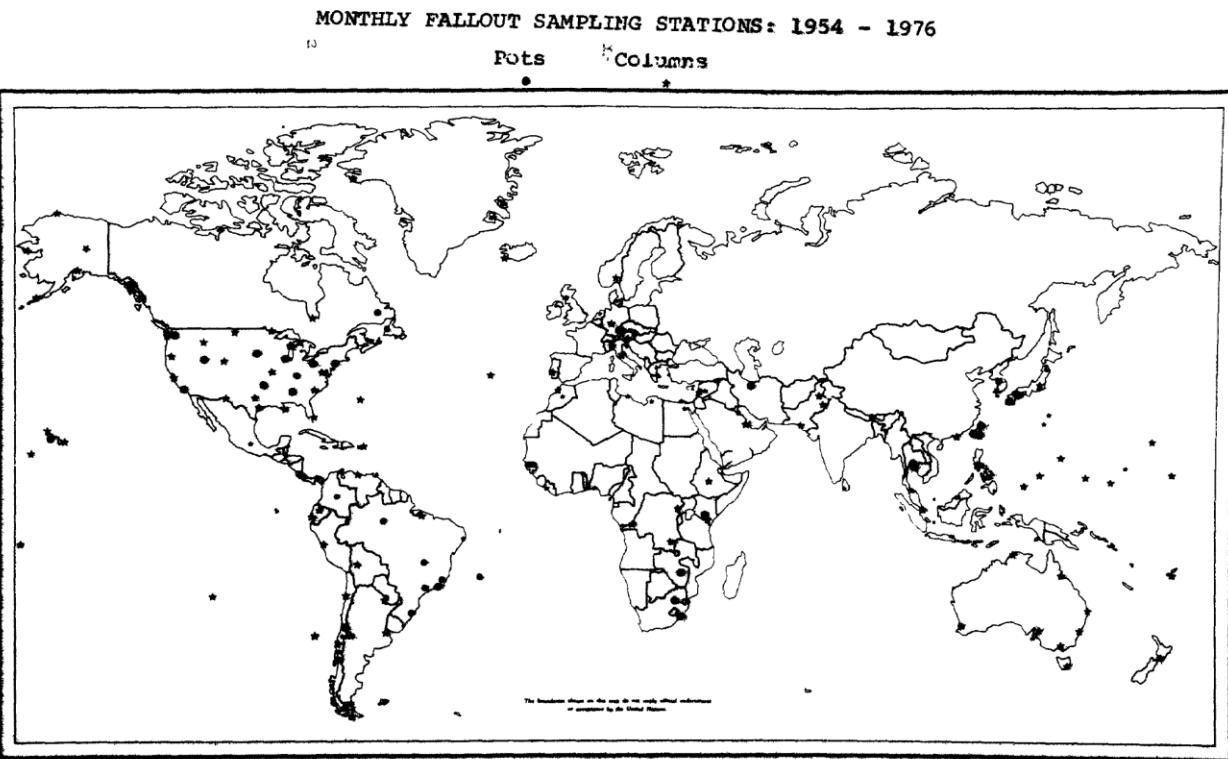


Eyrolle et al. (2024) ; doi: 10.1038/s41598-024-64505-7

Les données des trajectoires au service des outils opérationnels et de gestion - Cas du ^{137}Cs .

P. Boyer, V. Nicoulaud-Gouin (ASNR)

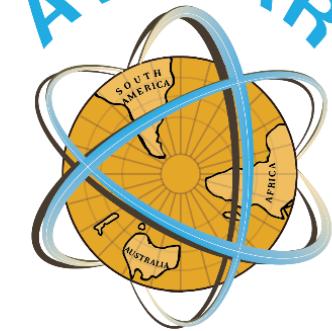
Représentativité des données de l'UNSCEAR



Evrard et al. (2020) ; doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107103

- **Programme EML (1954–1976)** : Principal jeu de données mondial sur les FRN, utilisé par l'UNSCEAR pour estimer la répartition spatiale et temporelle des retombées globales.
- Mesures du ^{90}Sr sur 177 stations (124 au Nord, 53 au Sud), permettant d'identifier les pics de retombées dans l'hémisphère Nord (1963) et l'hémisphère Sud (1964–65).
- **Problématique** : Sous-estimation des retombées de FRN dans l'hémisphère Sud (peu de stations opérationnelles avant 1960, et après la signature du PTBT).

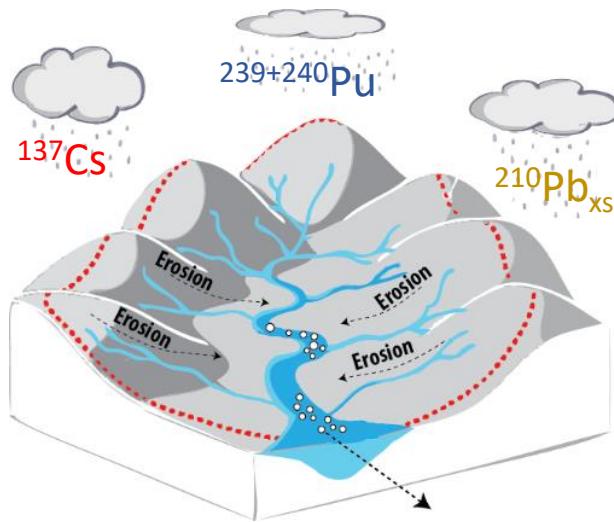
AVATAR



anr[®]
agence nationale
de la recherche

Schweizerischer Nationalfonds
Fonds national suisse
Fondo nazionale svizzero
Swiss National Science Foundation

A reVised dATing framework for
quantifying geomorphological
processes during the AnthRopocene

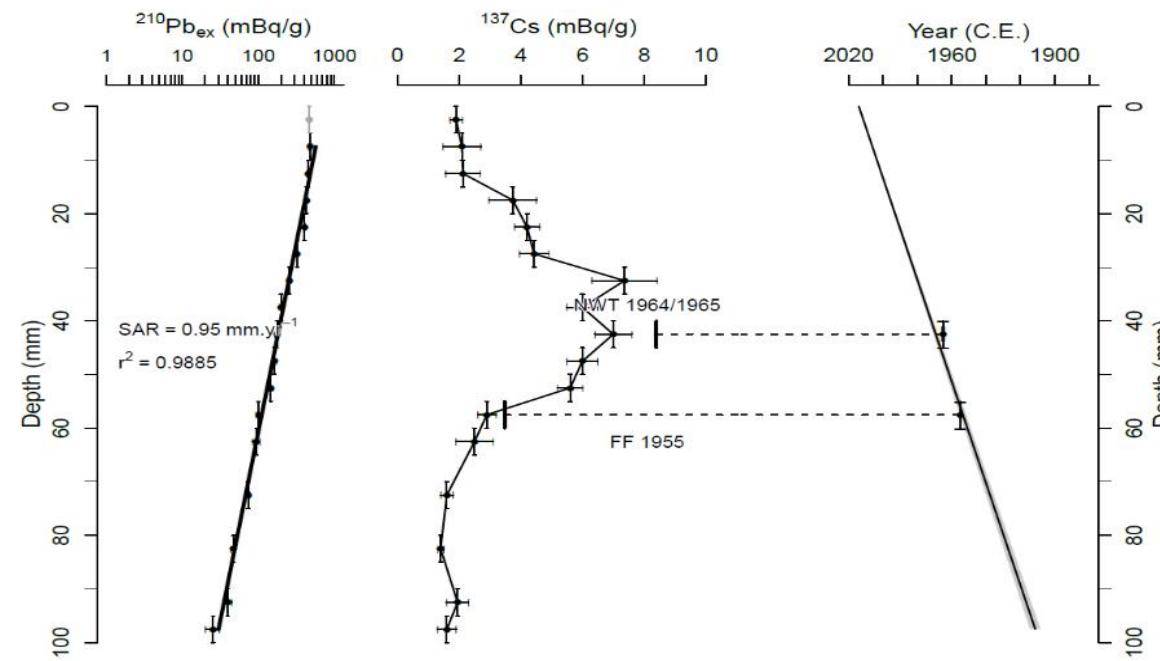


^{137}Cs Marqueur temporel
+
 $^{210}\text{Pb}_{\text{XS}}$ Taux de sédimentation



Datation des archives sédimentaires

Difficultés pour dater les archives sédimentaires dans l'Hémisphère Sud



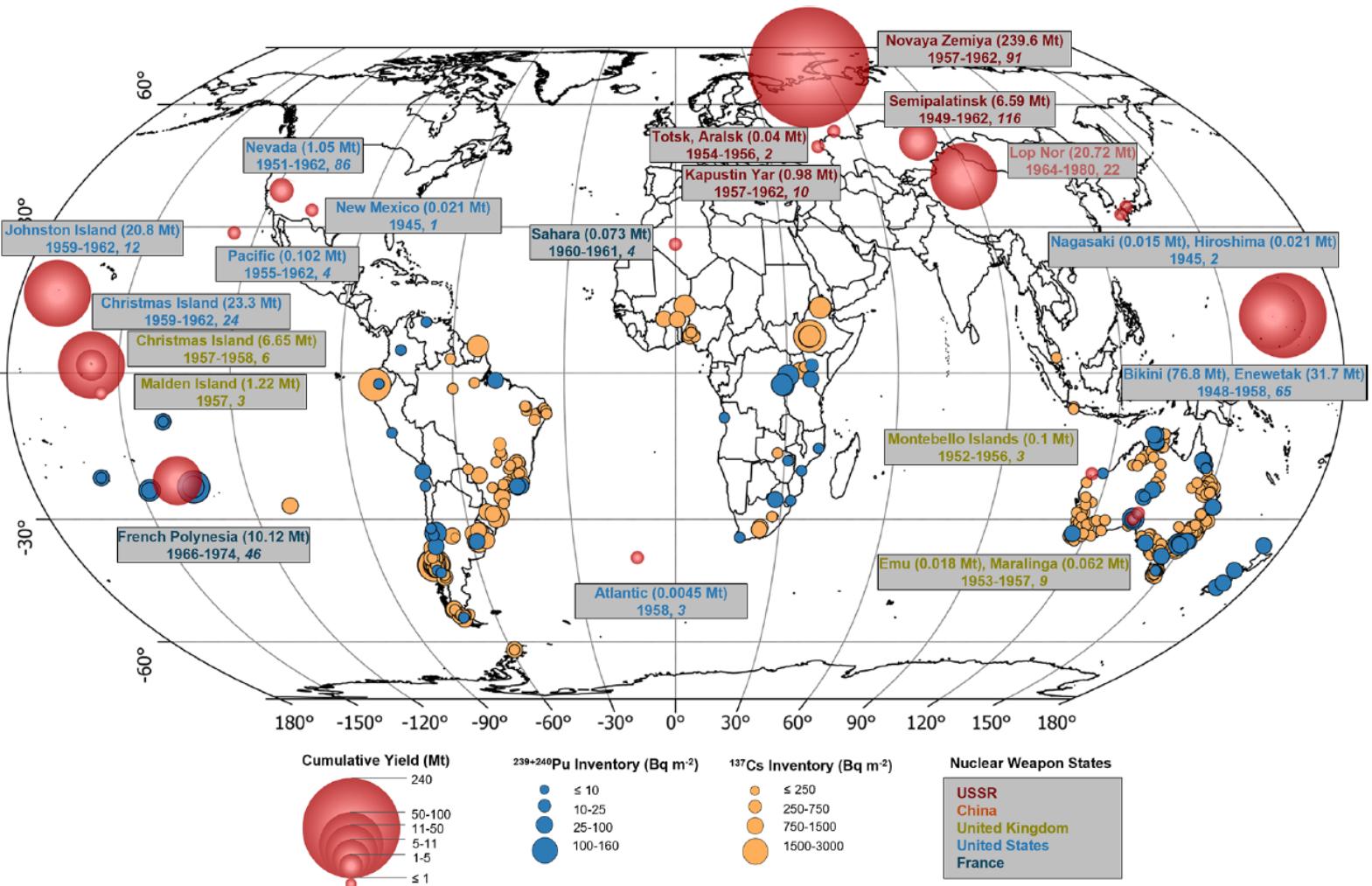
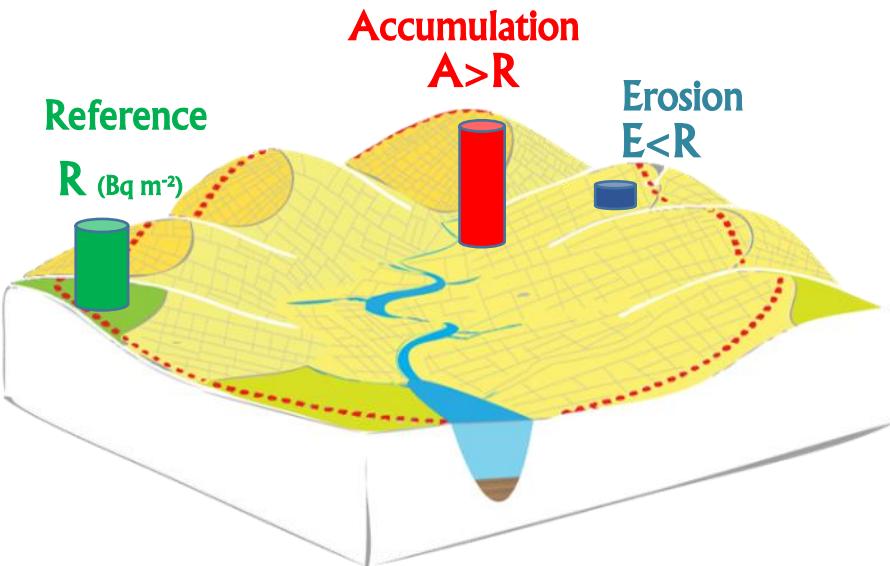
NEW!

$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$
Traceur de l'origine des
bombes nucléaires

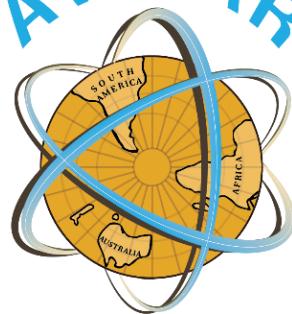
Pu
⁹⁴
(244)
Plutonium

Difficulté pour attribuer une année au pic de ^{137}Cs (attribué par défaut à 1964-65 dans une archive collectée au Chili (Lac Chungara; Guedron et al., 2019)).

Inventaires en radionucléides dans les sols de l'Hémisphère Sud et... sources



AVATAR

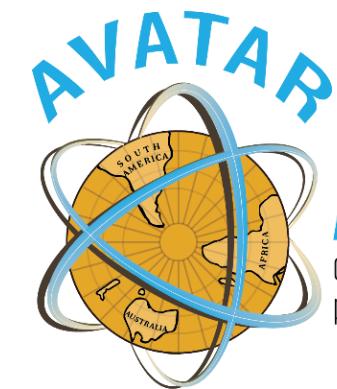
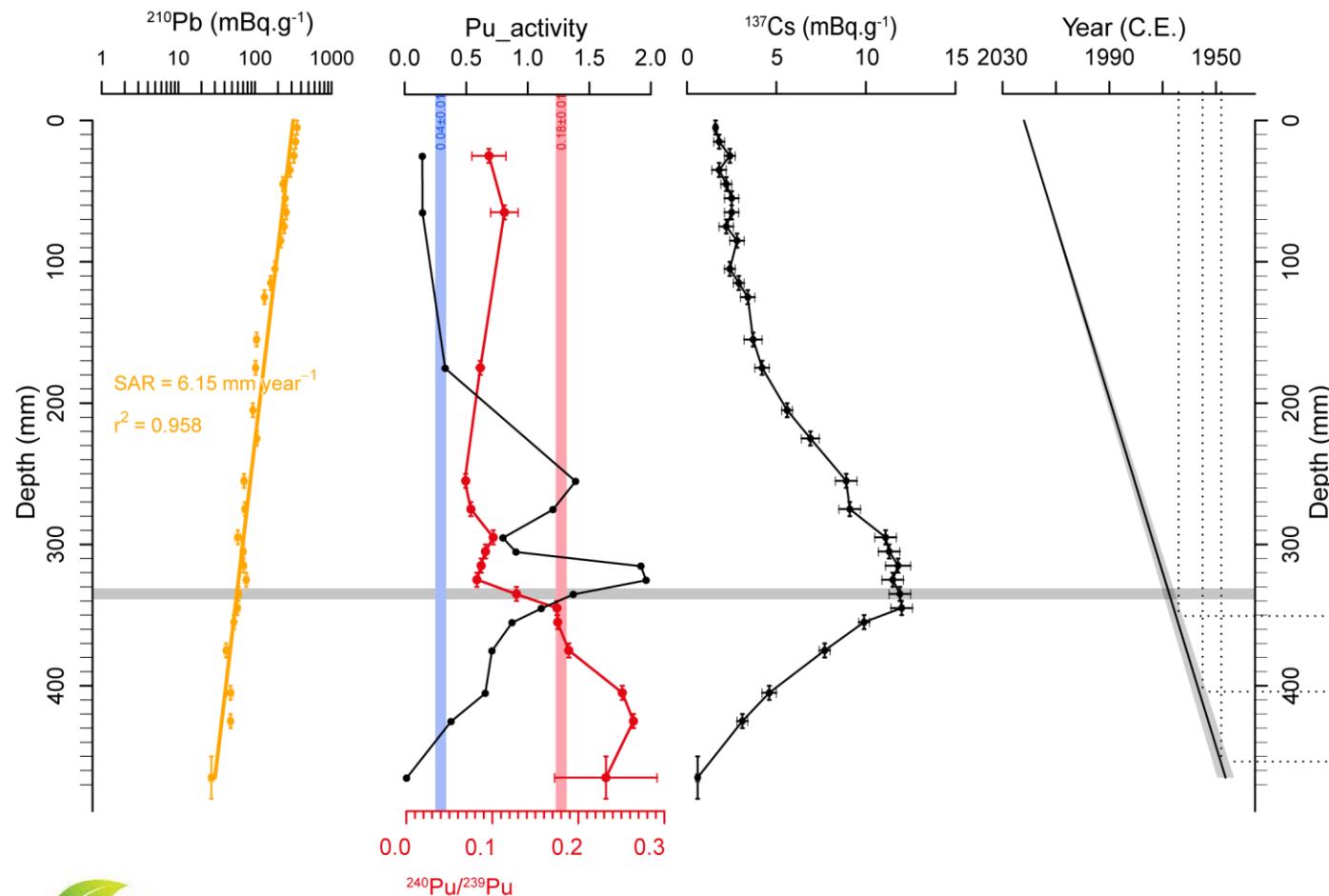


A revised dATing framework for quantifying geomorphological processes during the AnthRopocene

Dicen et al., ESSD (2025)

Open Access
Earth System
Science
Data

Révision de la datation d'archives sédimentaires à l'aide de l'analyse du plutonium



A revised dATing framework for quantifying geomorphological processes during the Anthropocene

Création d'un réseau participatif (« *P-Net* ») pour dater des archives existantes ou analyser des marqueurs supplémentaires à la condition de verser les données à la nouvelle base en création

Les poussières de sable du Sahara étaient porteuses de Césium-137, résidu d'anciens essais nucléaires français

Publié le 28/02/2021 à 08h50

Écrit par Sophie Courgeot.

france tv



Episode de poussières sahariennes de mars 2022

Campagne de science participative à partir des réseaux sociaux

110 échantillons collectés à travers l'Europe

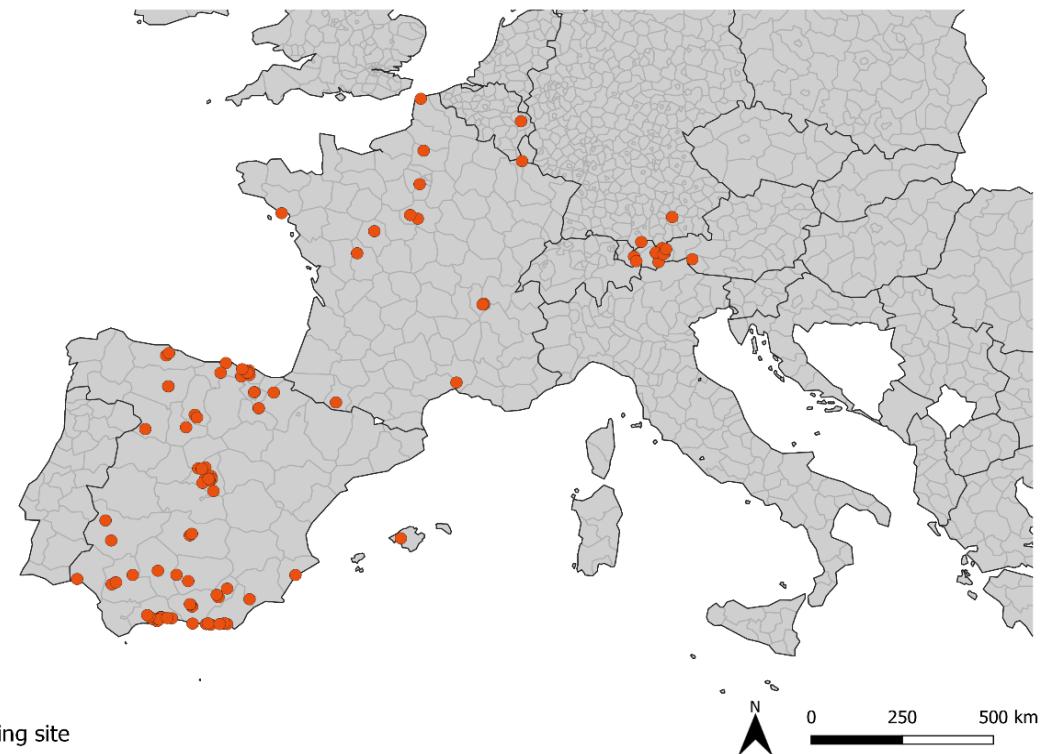


Sampling site



Universidad de Oviedo

Sampling sites of Saharan dust deposited during the March 2022 episode



<https://doi.org/10.5281/zenodo.7814075>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
LABOR SPIEZ

GEOPS GEOSCIENCES
PARIS SACLAY

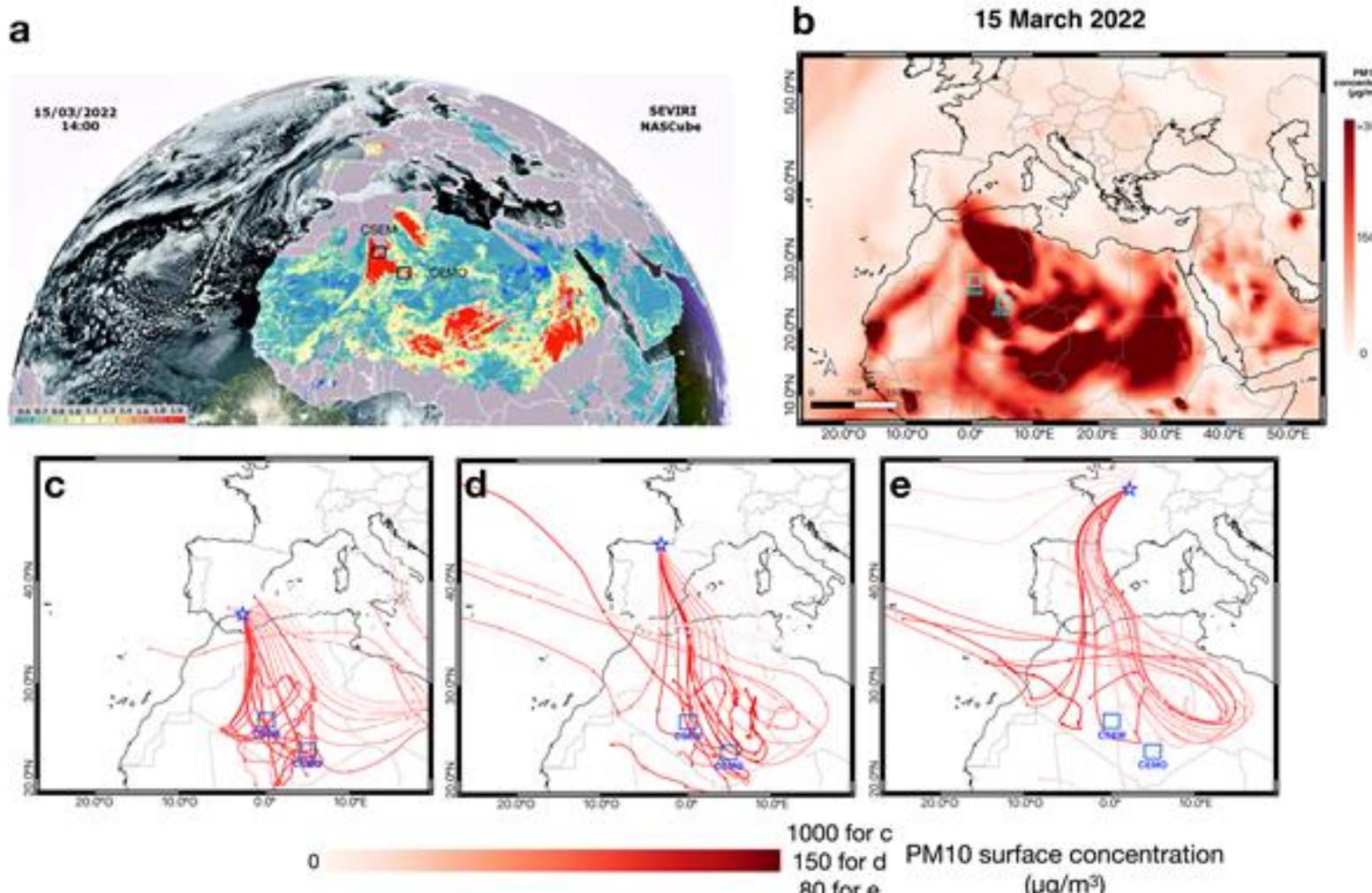
LSCE

cea

cnrs

UVSQ
université PARIS-SACLAY

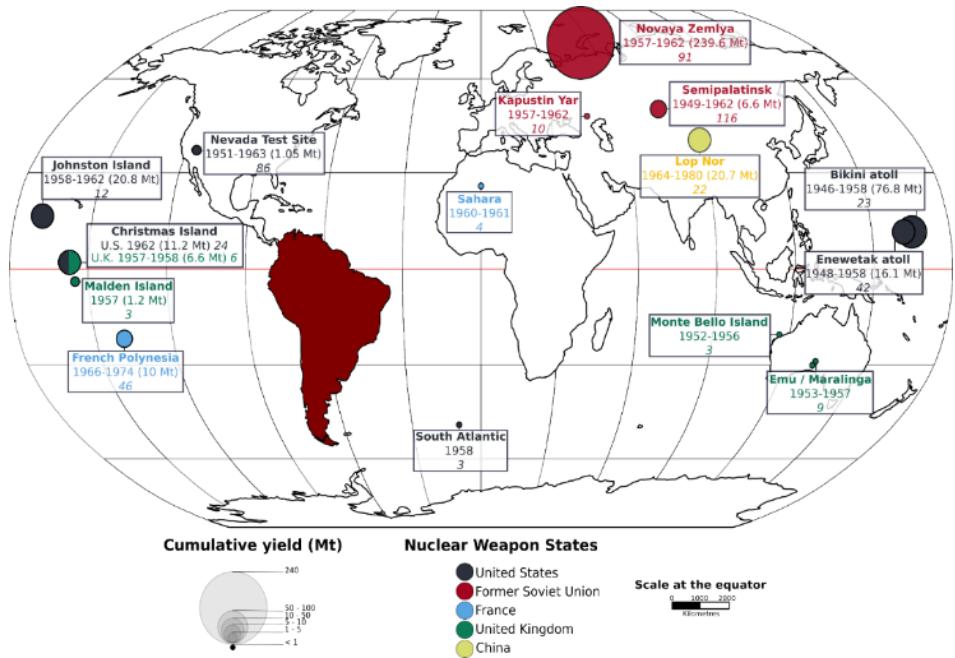
La poussière saharienne provenait en effet d'une région où des essais nucléaires avaient été menés par la France



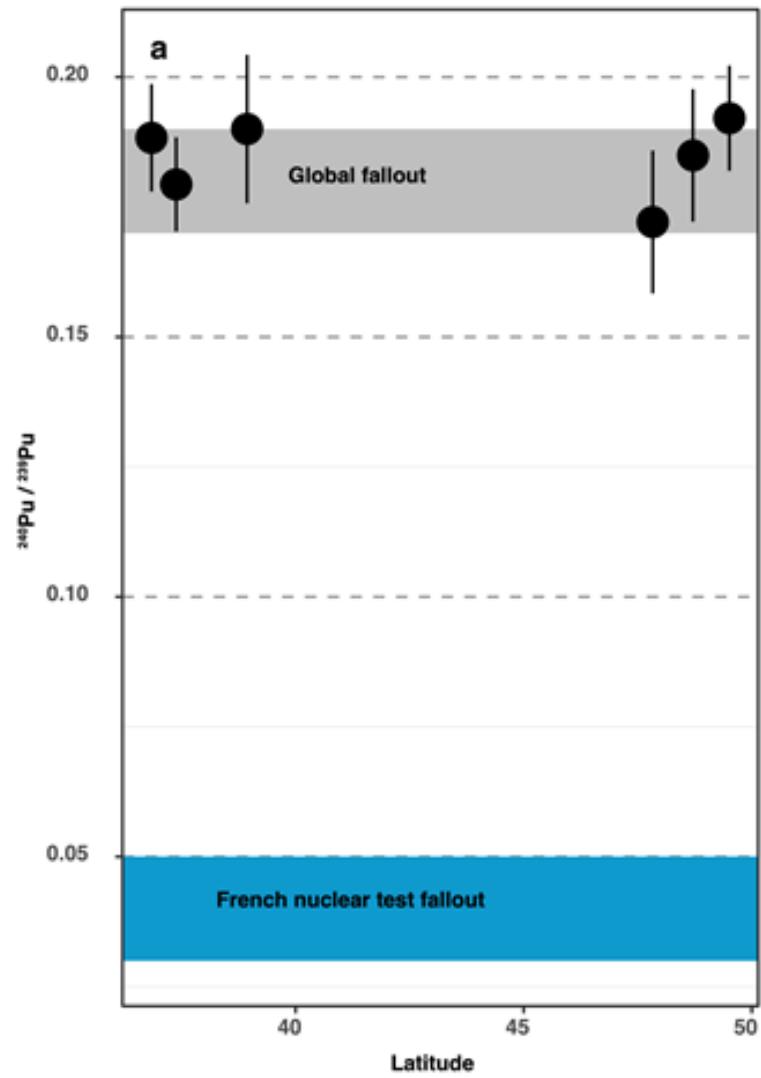
Événement de poussière de mars 2022 : analyses satellites et trajectoires rétrospectives. (a) Images de détection de la profondeur optique des aérosols mesurée par NASCube à 14 h 00 le 15 mars 2022. (b) Concentration de PM10 en surface ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) pour le 15 mars 2022 dérivée de la réanalyse CAMS de la composition atmosphérique (Inness et al., 2019). Panneau inférieur (c, d, e) : série HYSPLIT de trajectoires rétrospectives arrivant à une altitude de 3 000 m au sud (Santurtzi, 40°N) et au nord (Léon, 42°N) de l'Espagne et au centre de la France (Sigloy, 46°N).



Néanmoins, l'analyse de l'isotropie du plutonium montrent que le ^{137}Cs contenu dans les poussières sahariennes est plutôt associé aux retombées mondiales largement dominées par les essais nucléaires menés par l'Union soviétique et les États-Unis.



Chaboche et al. (2022) ; doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156943



Conclusions

- Plusieurs décennies après la fin des essais nucléaires atmosphériques, on manque toujours d'infos sur les retombées radioactives associées et leurs variations spatio-temporelles ;
- Ces données sont importantes pour les reconstructions temporelles des contaminations telles que celles proposées par le projet TRAJECTOIRE ;
- D'autres zones du monde sont encore moins bien loties que la France, comme l'Hémisphère Sud, à une époque où la menace de nouvelles retombées est particulièrement élevée ;
- Disposer de données de référence concernant les retombées radioactives – même anciennes – et leur source reste fondamental pour pouvoir étudier des questions scientifiques d'actualité et d'intérêt pour le grand public (ex. origine et ampleur de la radioactivité des poussières sahariennes)

Merci pour votre attention !



Colloque de restitution final du projet ANR TRAJECTOIRE (2020-2025)
Auditorium de l'ASNR de Fontenay Aux Roses
Mercredi 11 juin 2025

Bibliographie

- UNSCEAR. (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2000 Report, Volume I : Report to the General Assembly, with Scientific Annexes - Sources. United Nations. <https://doi.org/10.18356/49c437f9-en>.
- Meusburger et al. (2020) : Plutonium aided reconstruction of caesium atmospheric fallout in European topsoils ». *Scientific reports* 10(1): 11858.
- Health and Safety Laboratory, E., New York 10014, 1977. Final tabulation of monthly strontium-90 fallout data : 1954-1976.
- Eyrolle, F., Chaboche, P.-A., Lepage, H., Gouin, V. N., Boyer, P., De Vismes, A., Seignemartin, G., Badariotti, D., Chabaux, F., Chastanet, M., Claval, D., Copard, Y., Coynel, A., Debret, M., Delus, C., Euzen, C., Gardes, T., Giner, F., Gurriaran, R., ... Evrard, O. (2024). Temporal trajectories of artificial radiocaesium 137Cs in French rivers over the nuclear era reconstructed from sediment cores. *Scientific Reports*, 14(1), 14213. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64505-7>.
- Evrard, O., Chaboche, P.-A., Ramon, R., Foucher, A., & Laceby, J. P. (2020). A global review of sediment source fingerprinting research incorporating fallout radiocesium (137Cs). *Geomorphology*, 362, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107103>.
- Guédron, S., Tolu, J., Brisset, E., Sabatier, P., Perrot, V., Bouchet, S., Develle, A. L., Bindler, R., Cossa, D., Fritz, S. C., & Baker, P. A. (2019). Late Holocene volcanic and anthropogenic mercury deposition in the western Central Andes (Lake Chungará, Chile). *Science of The Total Environment*, 662, 903-914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.294>
- Xu-Yang, Y., Skonieczny, C., Ayrault, S., Barbier, J.-S., Bizeul, R., Bryskere, O., Chaboche, P.-A., Chalaux-Clergue, T., Corcho-Alvarado, J. A., Foucher, A., Karsenti, A., Leblanc, M., Orizaola, G., Plautre, A., Röllin, S., Taraconat, N., Tenaud, N., Valdés, A. E., Dulac, F., & Evrard, O. (2025). Radioactive contamination transported to Western Europe with Saharan dust. *Science Advances*, 11(5), eadr9192. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adr9192>