

L'art et la manière de dater les archives sédimentaires :

Reconstruire les trajectoires d'état
des contaminants
sur les 100 dernières années

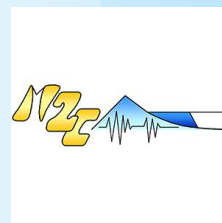
F. Eyrolle (ASNR)

Colloque final

11 juin 2025, Auditorium de l'ASNR de Fontenay-aux-Roses (92)

ANR TRAJECTOIRE (2020-2025)

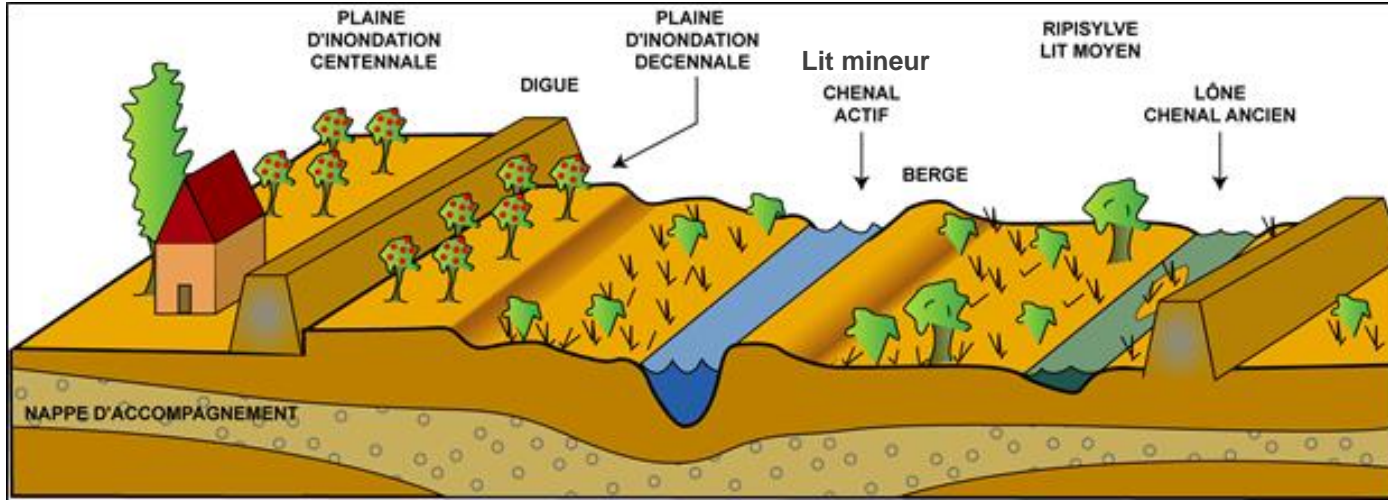
LE TÉMOIGNAGE DES ARCHIVES SÉDIMENTAIRES POUR MIEUX APPRÉHENDER
L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES NOUVELLES TECHNOLOGIES



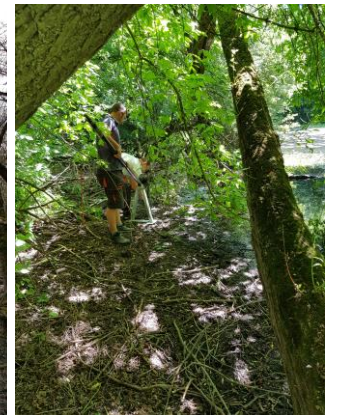
L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS



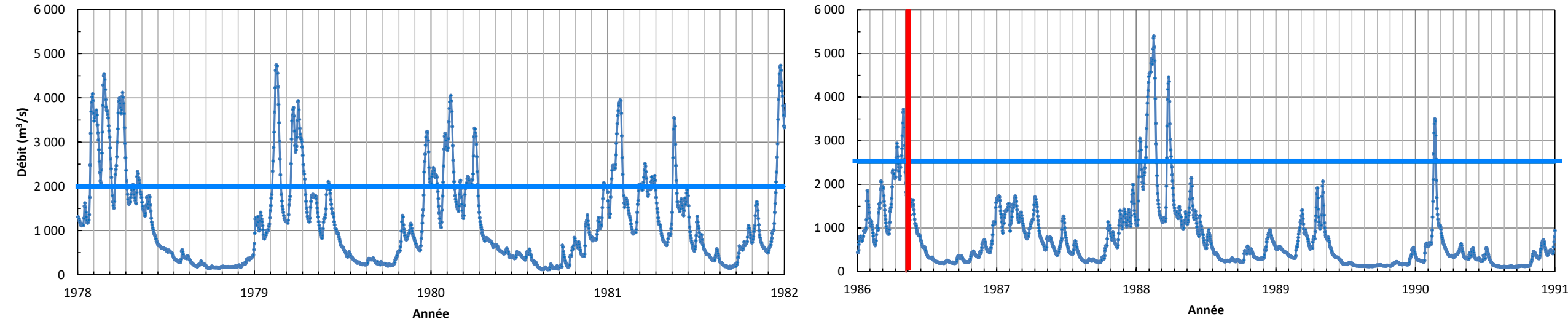
Zonation simplifiée des compartiments rivulaires



L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



INONDABILITÉ DES SITES



Débits liquides de la Loire de 1978 à 1990

La ligne bleue horizontale représente le débit en deçà duquel le site n'est pas immergé

La ligne rouge verticale est à la date de l'accident de Tchernobyl

**Des marges alluviales inondées *a minima* chaque année
... dans la mesure du possible**



L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE

CONDITIONS DE DÉPÔTS



**Des marges alluviales où se sont accumulés
des sédiments fins
de manière régulière et qui n'ont pas été perturbés**



Décantation, ..., sédimentation graduée,, roulement.



Taille des particules

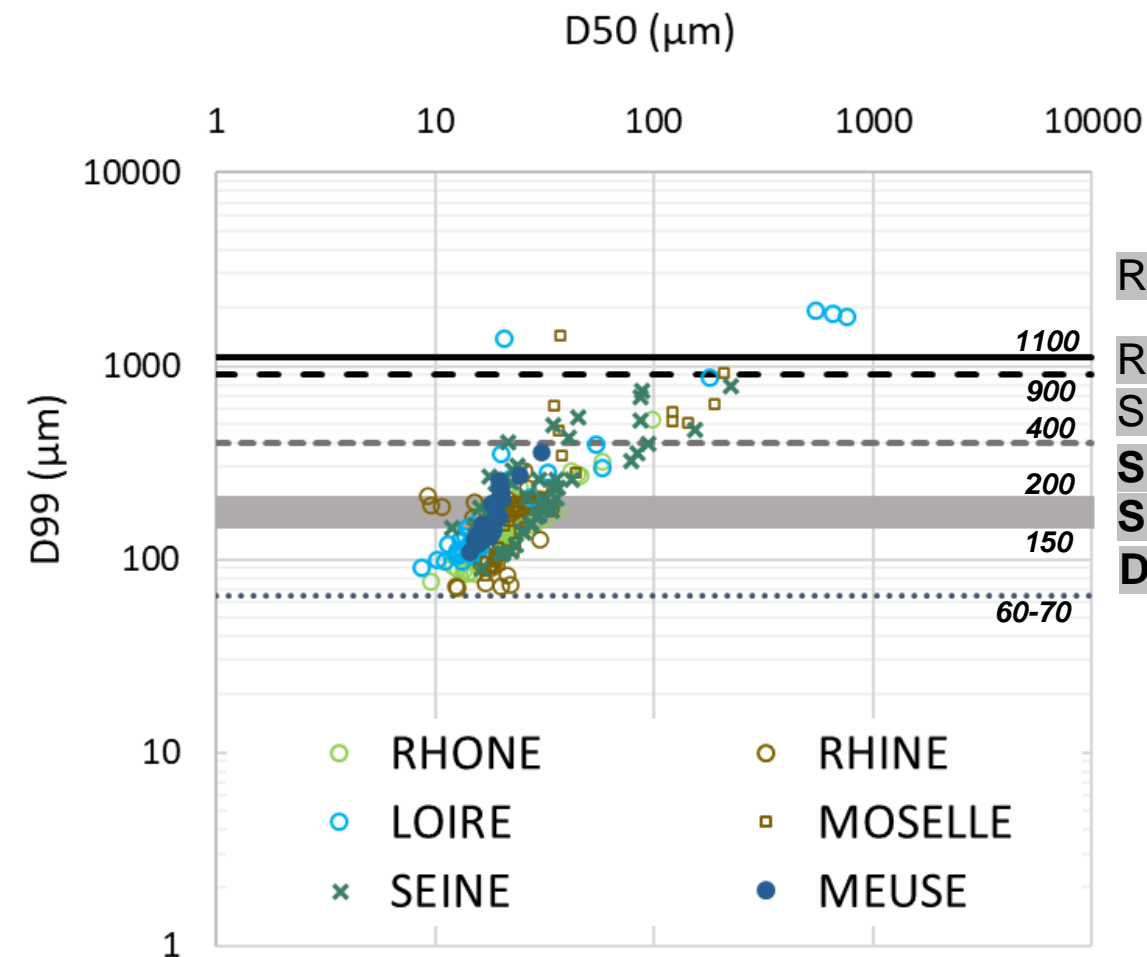
Dépôts continus (zones de « calme hydrodynamique »)

Dépôts discontinus ou évènementiels (dépôts d'inondation)



L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE

QUALIFICATION DES DÉPÔTS



Des dépôts de texture comparable d'un site à l'autre

COMMENT CONVERTIR UNE « PROFONDEUR » EN SÉRIE TEMPORELLE ??



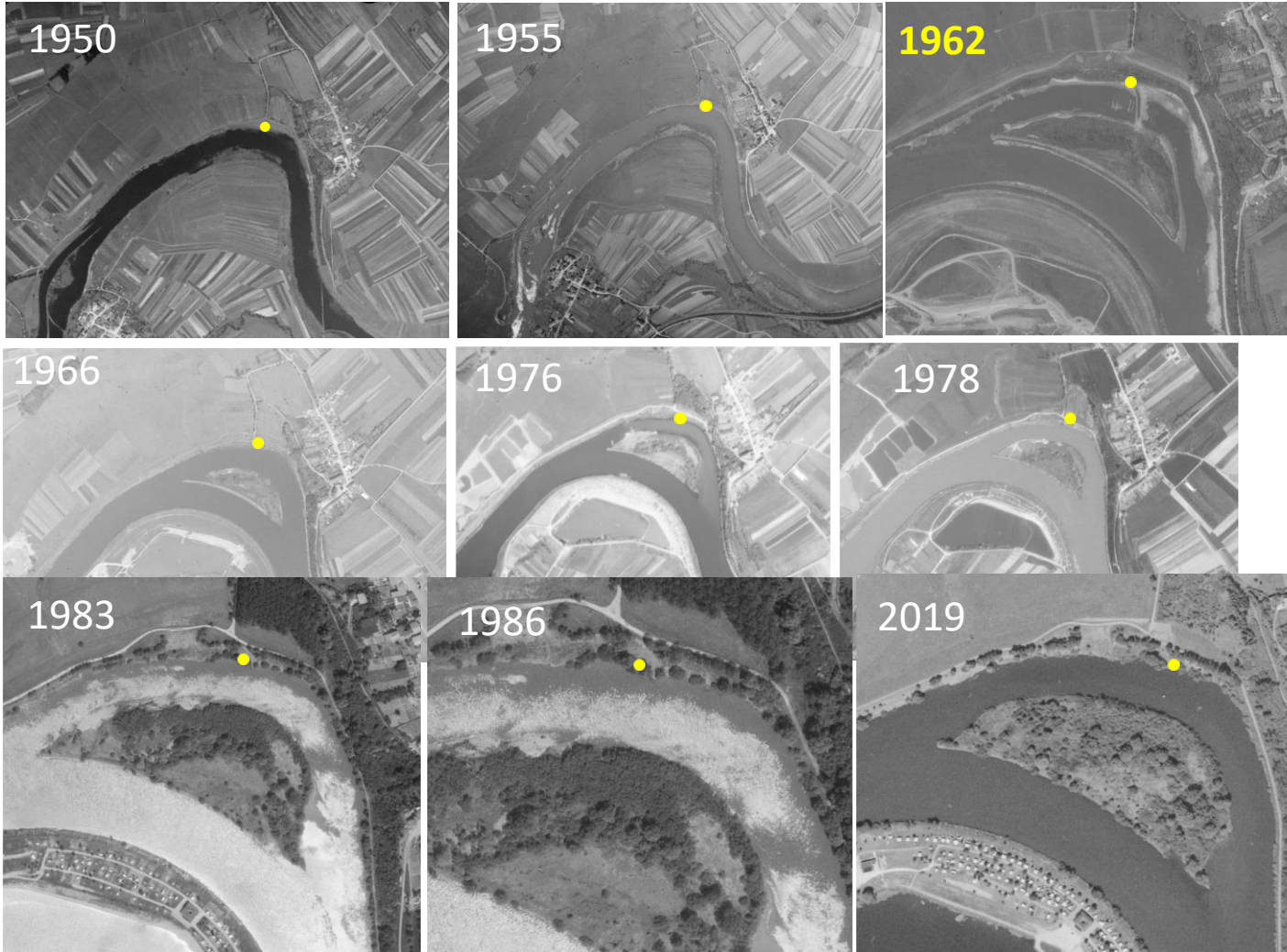
- Analyse diachronique de photos aériennes et cartes anciennes
- Analyse des chroniques de débits (crues exceptionnelles)
- Radio-chronométrie ($^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$)
- Traceurs radioactifs (^{137}Cs , ^{241}Am , isotopes du plutonium)



L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



ANALYSE DIACHRONIQUE DE PHOTOS AÉRIENNES ET CARTES ANCIENNES



Canalisation de la **Moselle** et émergence de
« l'île aux Oiseaux » vers 1959
Stabilisation et accrétion progressive de la rive
concave du méandre

*Pour protéger l'Eglise Saint Michel
de Berg-sur-Moselle, le cours de la Moselle fut
partiellement détourné ...*

TRAJECTOIRE MOSELLE - Site de Berg-sur-Moselle
Archive collectée le 22 juin 2021

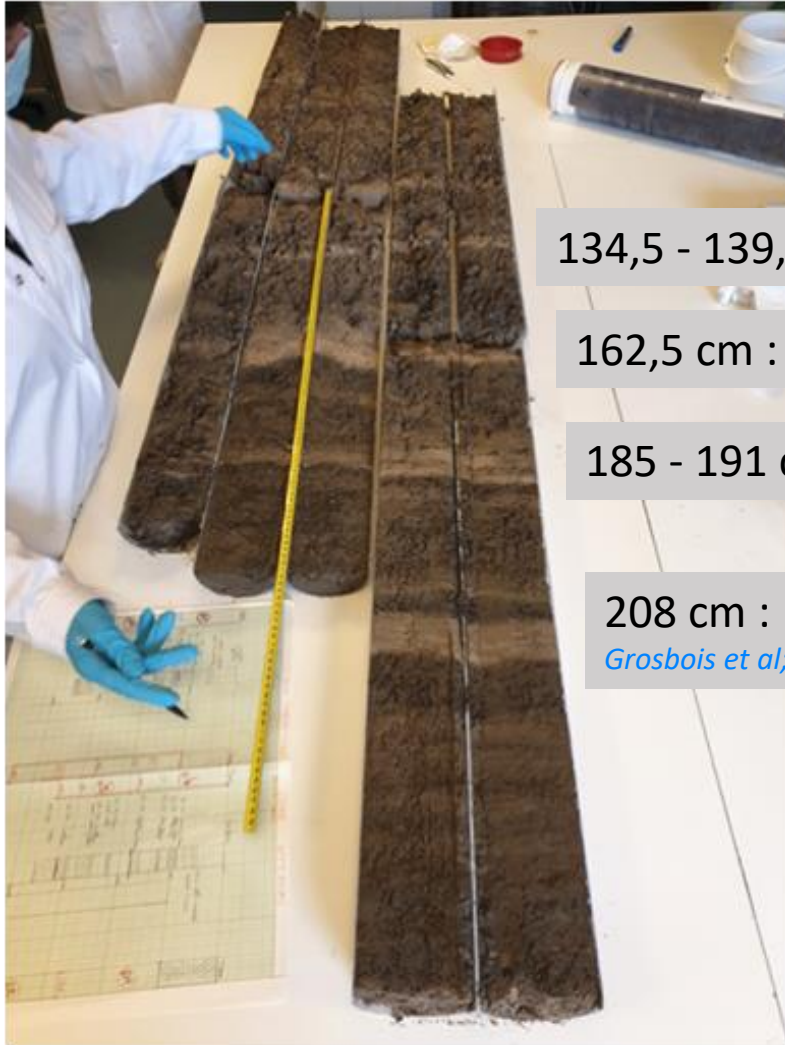
*... La première
photographie aérienne
date de 1858, elle est
l'œuvre du
photographe et
aérostier Félix Nadar
qui a pris un cliché du
Petit-Bicêtre (actuel
Petit-Clamart), depuis
un ballon captif...*



CNPE de Cattenom, juin 2021

ANALYSE DES CHRONIQUES DE DÉBITS

- Crues exceptionnelles et passées sableuses



134,5 - 139,5 cm : Crues majeures entre 1952 et 1955

162,5 cm : 1945

185 - 191 cm : 1941

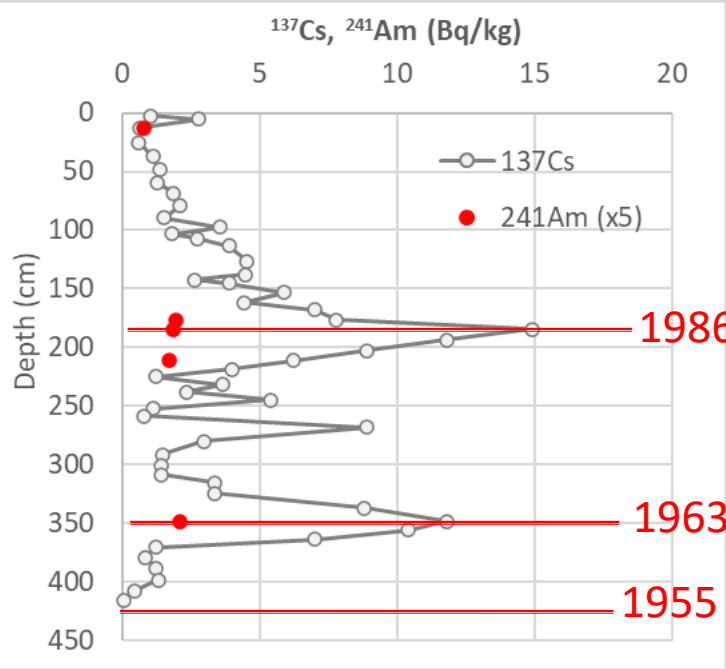
208 cm : 1910 - 1911 (2 mois, 50% du flux solide annuel)

Grosbois et al; 2012

TRAJECTOIRE LOIRE - Site de Montjean-sur-Loire
Archive collectée le 22 septembre 2020



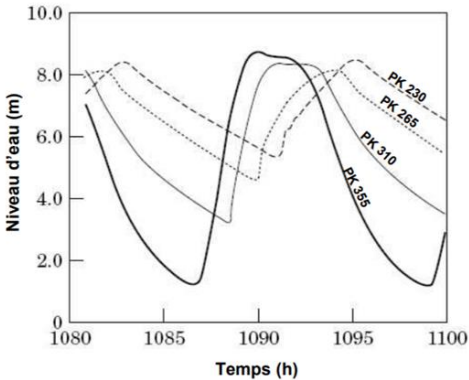
TRACEURS RADIOACTIFS (¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ISOTOPES DU PLUTONIUM, ...)



TRAJECTOIRE SEINE – Site d’Orival
Archive collectée le 25/11/2021

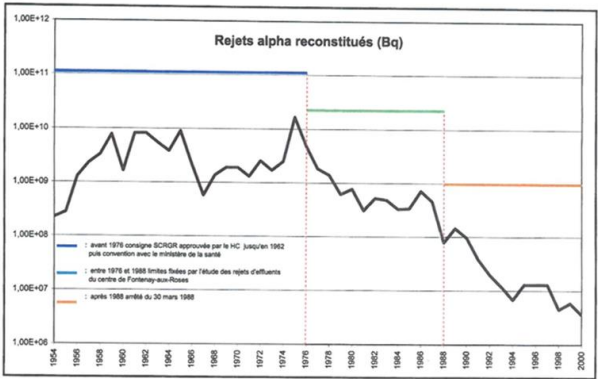


TRAJECTOIRE SEINE - Site d’Orival
Archive collectée le 25 novembre 2021



Pompage tidal
particulièrement
important entre
1980 et 1987
(Vrel, 2012) ...
ou bien rejets
de FAR ??

Asymétrie des ondes de marée dans l'estuaire de la Seine
(d'après Vrel, 2012)



Rejets annuels en émetteurs alpha du CEA de Fontenay-aux-Roses entre 1954 et 2000

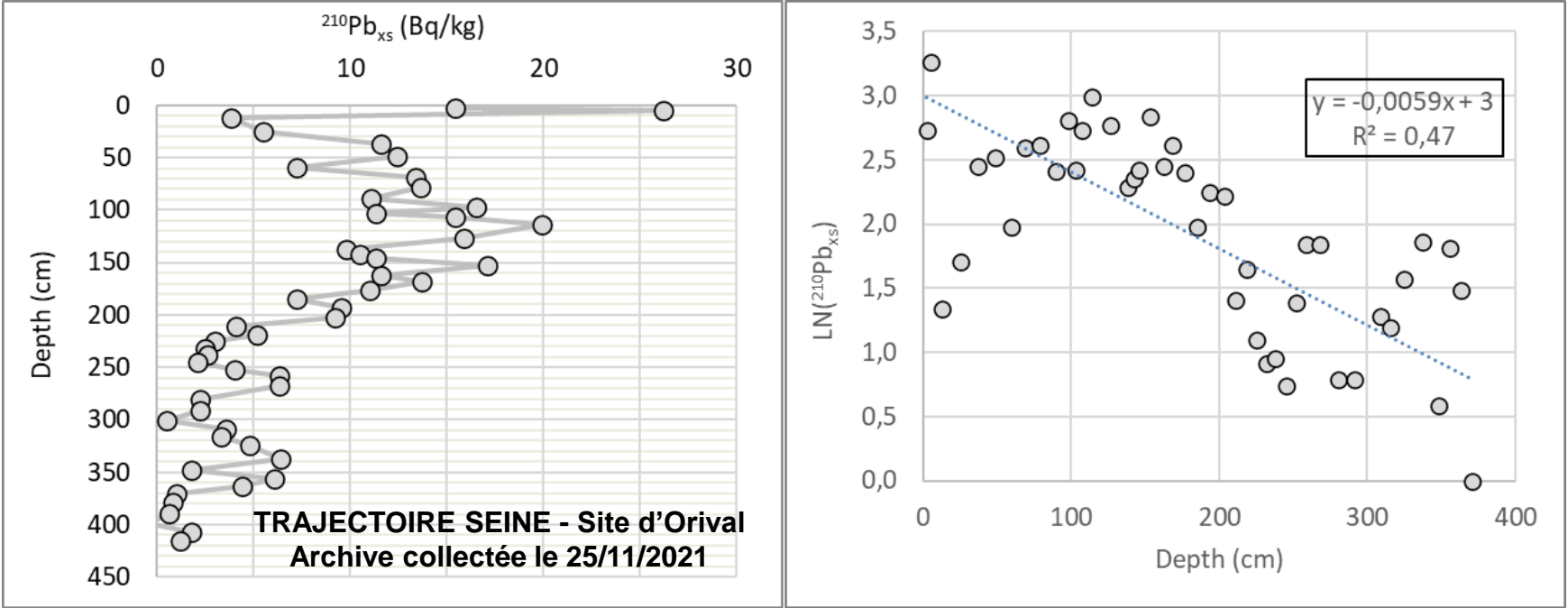
Utilisation du ¹³⁷Cs - 3 repères chronologiques

Période	Repères profondeur (cm)	Date	vitesse sédimentation, cm/an
1986-2021	184,8	1986	5,1
1963-1986	348,3	1963	7,1
1955-1963	415,5	1955	8,4

RADIO-CHRONOMÉTRIE (²¹⁰Pb_{xs})



TRAJECTOIRE SEINE - Site d'Orival
Archive collectée le 25 novembre 2021

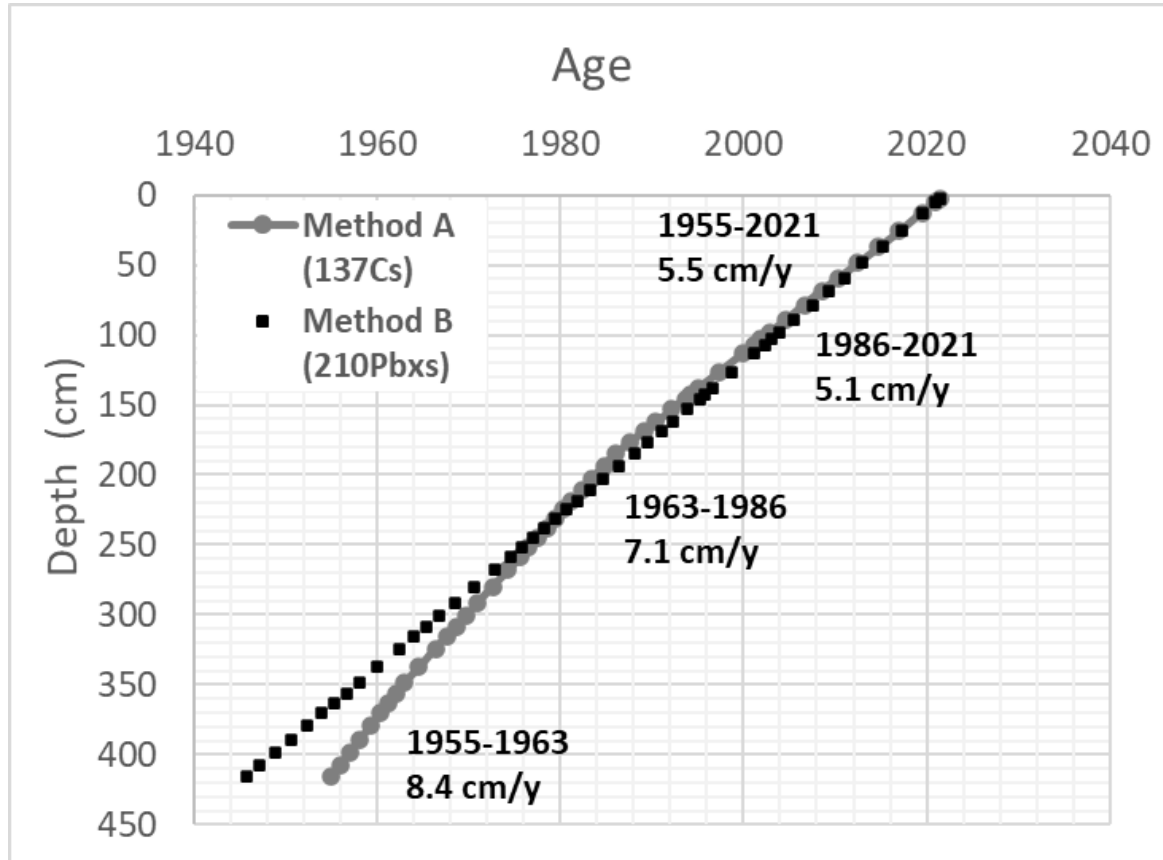


$^{210}\text{Pb}_{\text{xs}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{xs, initial}} e^{-\lambda t}$, soit $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}} = ^{210}\text{Pb}_{\text{xs, initial}} e^{-\lambda x/\tau}$
avec τ le taux de sédimentation en cm an⁻¹
 $\text{Ln}^{210}\text{Pb}_{\text{xs}} = -\lambda/\tau x + \text{Ln}^{210}\text{Pb}_{\text{xs, initial}}$
Pente de la droite de régression = λ/τ
avec $\lambda = \text{Ln}(2)/22,3$ en an⁻¹

Utilisation du ²¹⁰ Pb _{xs}				
Période	Pente	R ²	λ, an ⁻¹	vitesse sédimentation (cm/an)
1955-2021	0,0057	0,49	0,031	5,5

L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE

LES MODÈLES D'ÂGE



TRAJECTOIRE SEINE - Site d'Orival
Archive collectée le 25 novembre 2021

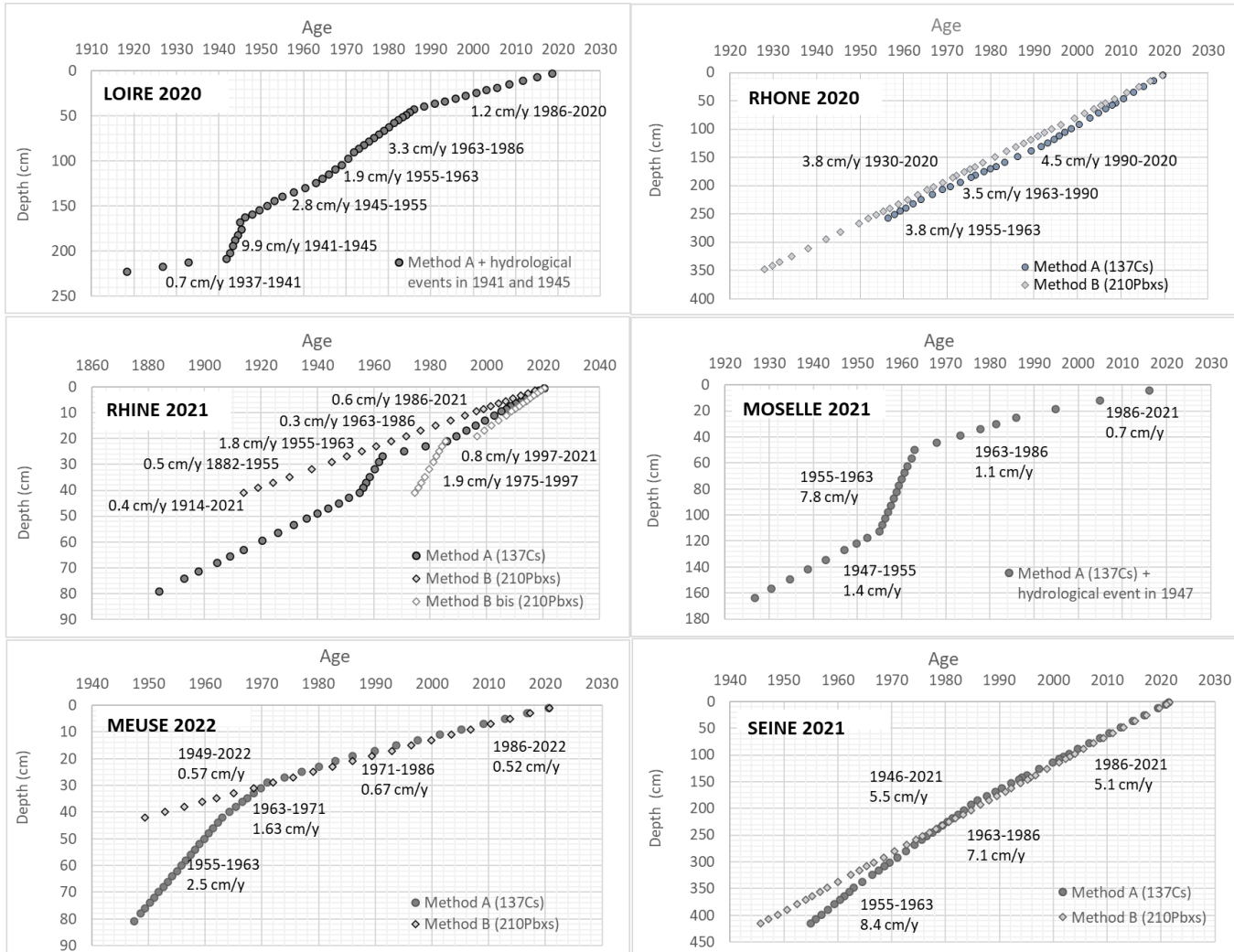


Une archive datée remontant aux années 1950
à 415,5 cm de profondeur

scientific reports

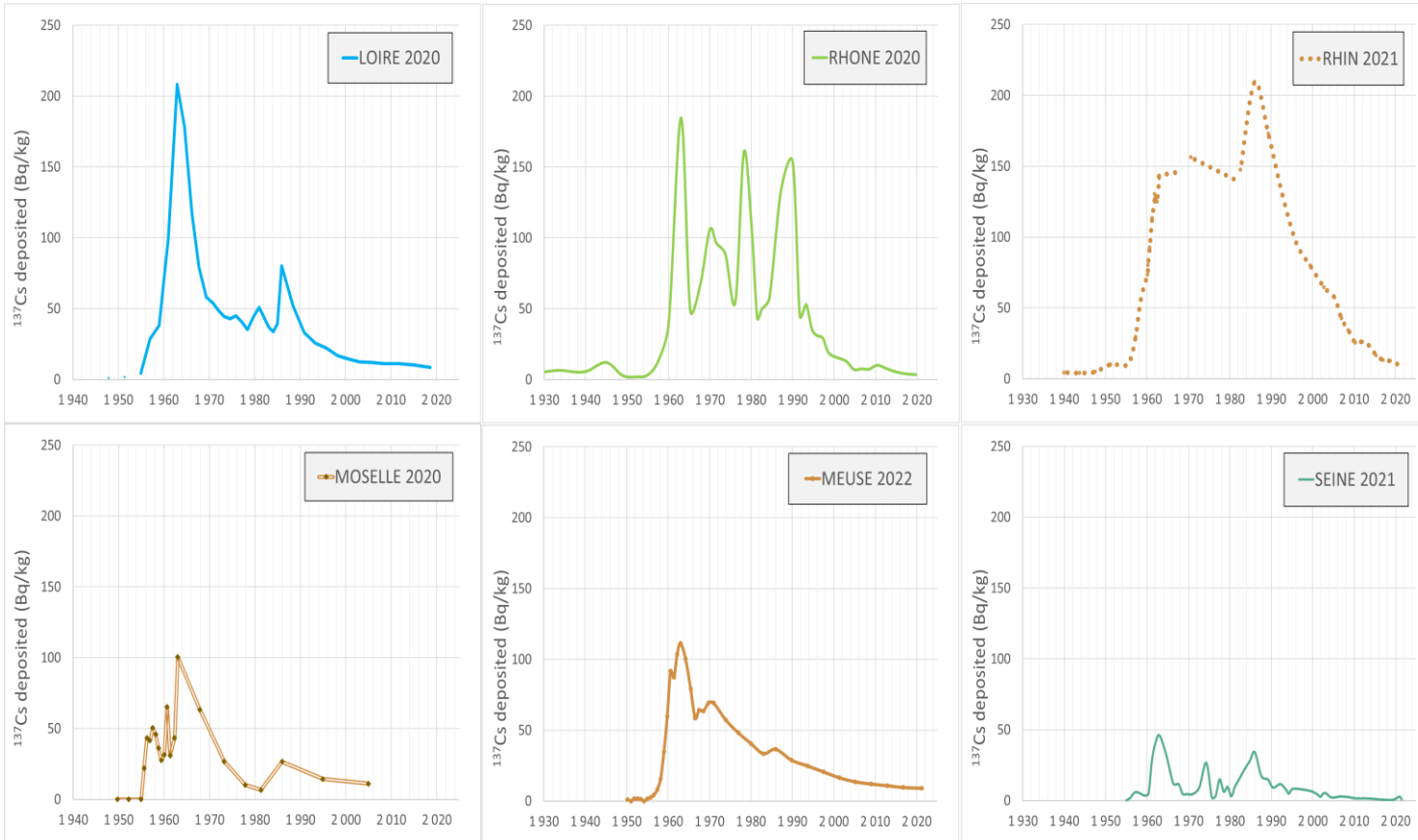
OPEN Temporal trajectories of artificial radiocaesium ^{137}Cs in French rivers over the nuclear era reconstructed from sediment cores

Frédérique Eyrolle^{1,2}, Pierre-Alexis Chaboche^{2,3}, Hugo Lepage¹, Valérie Nicoulaud Gouin¹, Patrick Boyer¹, Anne De Vismes⁴, Gabrielle Seignemartin⁵, Dominique Badariotti⁶, François Chabaux⁷, Maxime Chastanet⁸, David Claval¹, Yoann Copard⁹, Alexandra Coynel⁸, Maxime Debret⁹, Claire Delus¹⁰, Cassandra Euzen⁶, Thomas Gardes⁸, Franck Giner¹, Rodolfo Gurriaran¹, Christian Grenz¹¹, Cécile Grosbois¹², Laurence Lestel¹³, Benoît Losson¹⁰, Laurence Mansuy-Huault^{14,15}, Emmanuelle Montarges-Pelletier^{14,15}, Amandine Morereau¹³, Brice Mourier⁵, David Mourier¹, Vincent Ollive¹⁰, Laure Papillon¹¹, Jorg Schafer⁸, Laurent Schmitt⁶, Richard Sempere¹⁶, Thierry Winiarski⁵, Mathilde Zebracki¹⁷ & Olivier Evrard¹⁸



L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE

TRAJECTOIRES DU ^{137}Cs



Retombées globales : **RHONE = LOIRE > RHIN > MEUSE = MOSELLE > SEINE**

Retombées de Tchernobyl : **RHIN > MOSELLE > RHONE = MEUSE = LOIRE > SEINE**

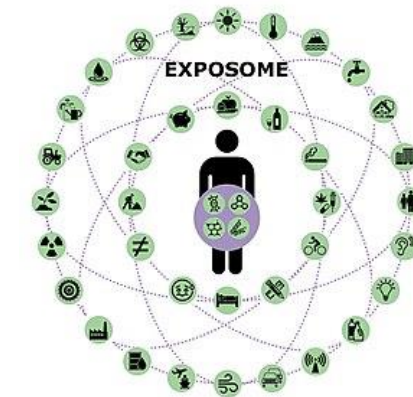
Exposome total : **RHIN > RHONE > MEUSE = LOIRE > MOSELLE > SEINE**



scientific reports

OPEN Temporal trajectories of artificial radiocaesium ^{137}Cs in French rivers over the nuclear era reconstructed from sediment cores

Frédérique Eyrolle^{1,2,3}, Pierre-Alexis Chaboche^{2,3}, Hugo Lepage¹, Valérie Nicoulaud Gouin¹, Patrick Boyer¹, Anne De Vismes⁴, Gabrielle Seignemartin⁵, Dominique Badariotti⁶, François Chabaux⁷, Maxime Chastanet⁸, David Claval¹, Yoann Copard⁹, Alexandra Coynel⁸, Maxime Debret⁹, Claire Delus¹⁰, Cassandra Euzen⁶, Thomas Gardes⁸, Franck Giner¹, Rodolfo Gurriaran¹, Christian Grenz¹¹, Cécile Grosbois¹², Laurence Lestel¹³, Benoît Losson¹⁰, Laurence Mansuy-Huault^{14,15}, Emmanuelle Montarges-Pelletier^{14,15}, Amandine Morereau¹³, Brice Mourier⁵, David Mourier¹, Vincent Ollive¹⁰, Laure Papillon¹¹, Jorg Schafer⁸, Laurent Schmitt⁶, Richard Sempere¹⁶, Thierry Winiarski⁵, Mathilde Zebracki¹⁷ & Olivier Evrard¹⁸

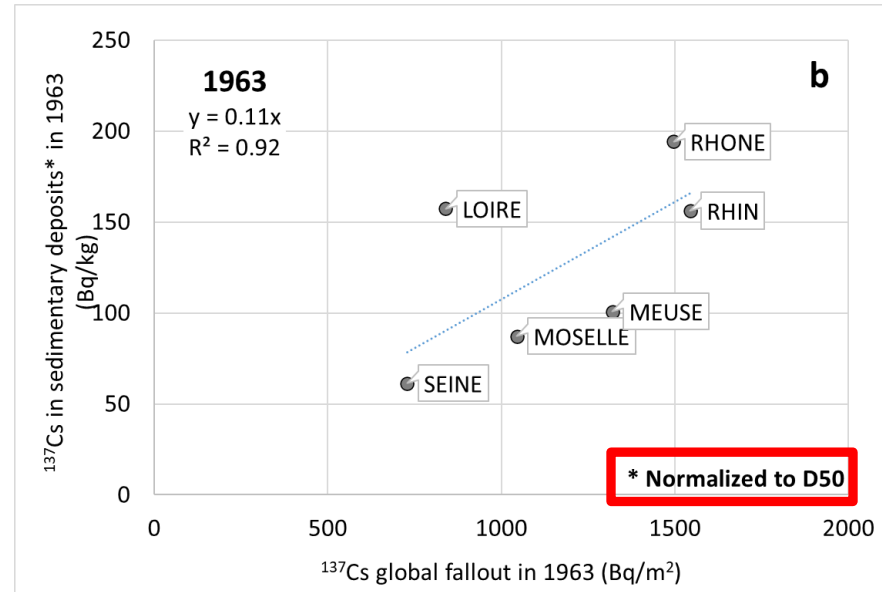
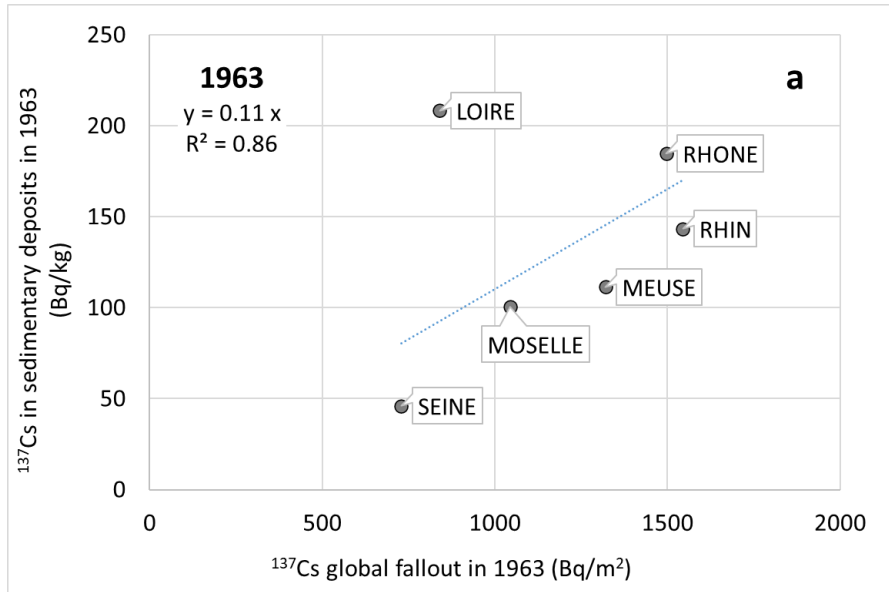


QUALIFICATION DES TRAJECTOIRES

DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES / RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES GLOBALES

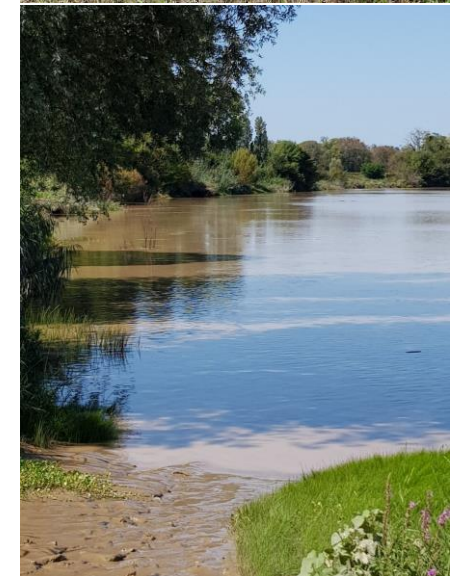
1963 ($R^{2*} = 0.92$)

^{137}Cs



From Eyrolle et al., 2024, Scientific Reports

... témoigne de la représentativité des archives sédimentaires collectées

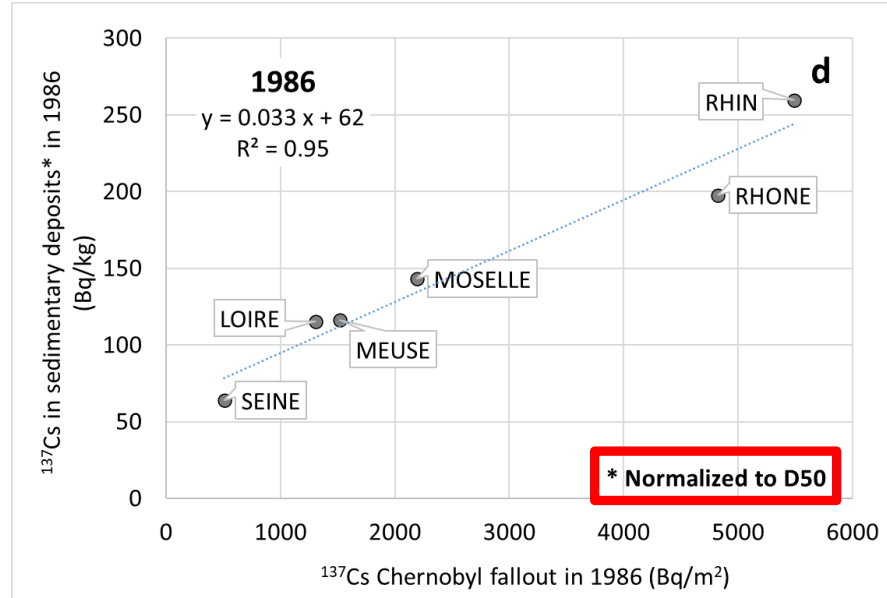
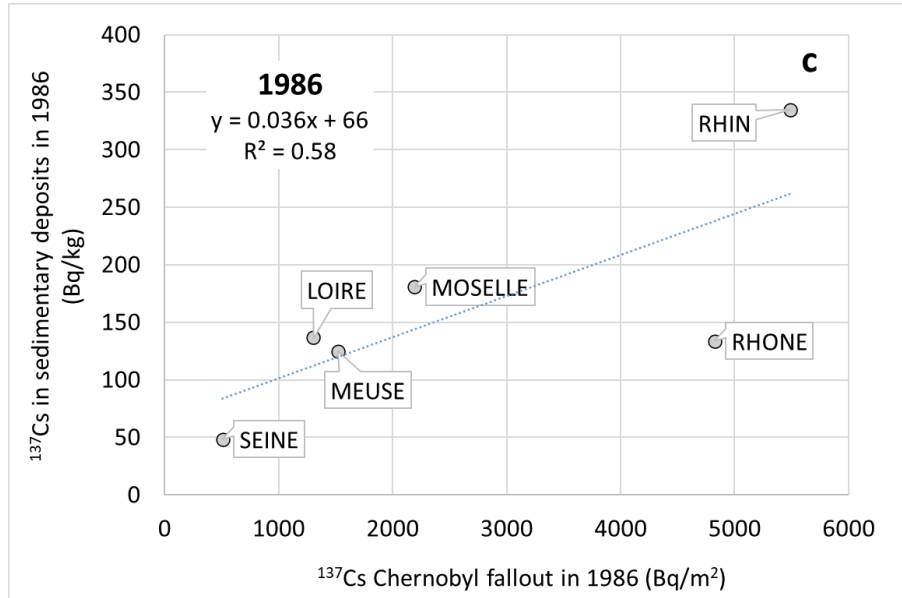


QUALIFICATION DES TRAJECTOIRES D'ÉTAT

DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES / RETOMBÉES DE TCHERNOBYL

1986 ($R^{2*} = 0.95$)

^{137}Cs



From Eyrolle et al., 2024, Scientific Reports

... témoigne de la représentativité des archives sédimentaires collectées

Résultat phare :

Les paramètres de transferts atmosphère/sols/sédiments sont proches quel que soit le BV (en France et > 10 000 km²)

REMERCIEMENTS

Alexandra Coynel (alexandra.coynel@u-bordeaux.fr); amandine Morereau <a.morereau@yahoo.fr>; benjamin.oursel@mio.osupytheas.fr; BOULET Beatrice <beatrice.boulet@irsn.fr>; BOYER Patrick <patrick.boyer@irsn.fr>; Brice.MOURIER@entpe.fr; Cale Eric <eric.cale@irsn.fr>; Chastanet Maxime <maxime.chastanet@u-bordeaux.fr>; christian.grenz@mio.osupytheas.fr; CLAVAL David <david.claval@irsn.fr>; DE VISMES Anne <anne.de-vismes@irsn.fr>; DEBAYLE Christophe <christophe.debayle@irsn.fr>; DIDIER Damien <damien.didier@irsn.fr>; ELISEE Veronique <veronique.elisee@irsn.fr>; Gabrielle Seignemartin <gabrielle.seignemartin@entpe.fr>; GARDES Thomas <tgardes@acmg.asso.fr>; gerard.blanc@u-bordeaux.fr; GINER Franck <franck.giner@irsn.fr>; GOURGIOTIS Alkiviadis <alkiviadis.gourgiotis@irsn.fr>; GURRIARAN Rodolfo <rodolfo.gurriaran@irsn.fr>; Jorg Schafer <jorg.schafer@u-bordeaux.fr>; laure.papillon@mio.osupytheas.fr; Laurence Lestel (laurence.lestel@sorbonne-universite.fr); Laurence MILLOT <laurence.millot@sorbonne-universite.fr>; Layglon Nicolas <nicolas.layglon@u-bordeaux.fr>; LE CORRE Cedric <cedric.le-corre@irsn.fr>; LEPAGE Hugo <hugo.lepage@irsn.fr>; MANGERET Arnaud <arnaud.mangeret@irsn.fr>; maxime debret (maxime.debret@univ-rouen.fr); MORIN Maxime <maxime.morin@irsn.fr>; MOURIER David <david.mourier@irsn.fr>; NICOULAUD GOUIN Valerie <valerie.nicoulaudgouin@irsn.fr>; Olivier Evrard (Olivier.Evrard@Isce.ipsl.fr); PELE Kathleen <kathleen.pele@gmail.com>; 'PELE Kathleen' <kathleen.pele@irsn.fr>; 'PICOLO Jean Louis' <jean-louis.picolo@irsn.fr>; Pierre Alexis CHABOCHE <p.chaboché@protonmail.com>; richard.sempere@mio.osupytheas.fr; Thierry WINIARSKI@entpe.fr; VIDAL Alice <alice.vidal@mio.osupytheas.fr>; yoann copard (yoann.copard@univ-rouen.fr); ZEBRACKI Mathilde <mathilde.zebracki@irsn.fr>

