

## 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

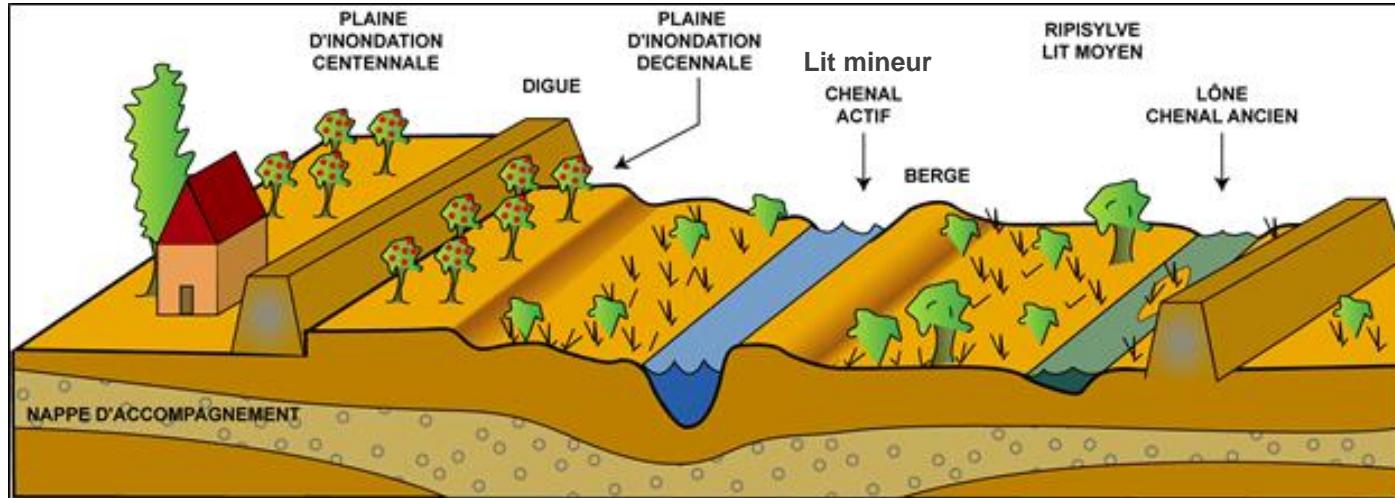


# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS



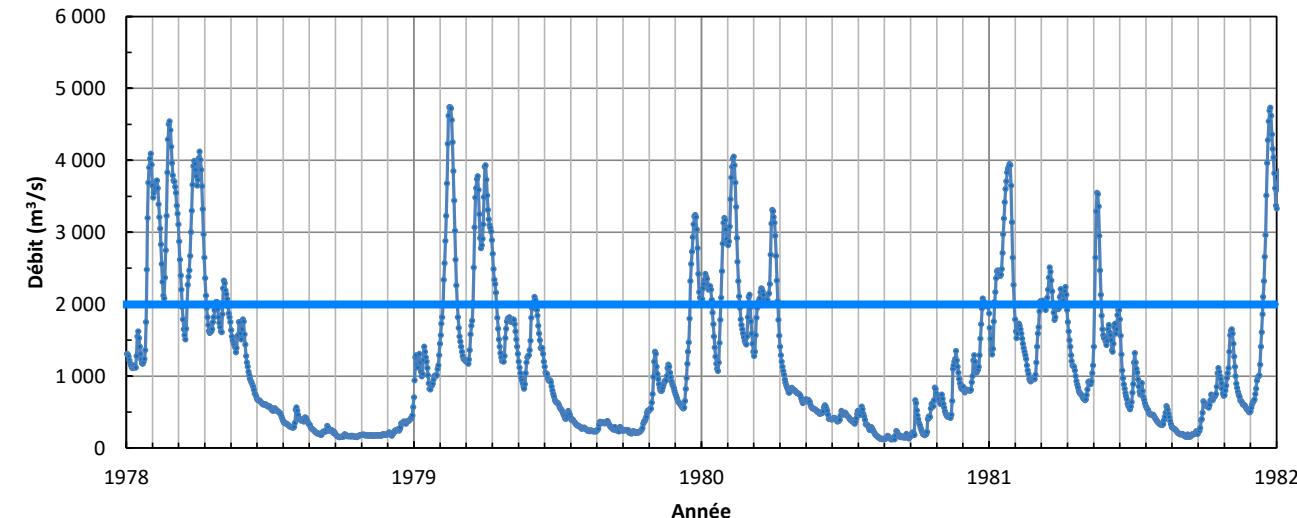
Zonation simplifiée des compartiments rivulaires



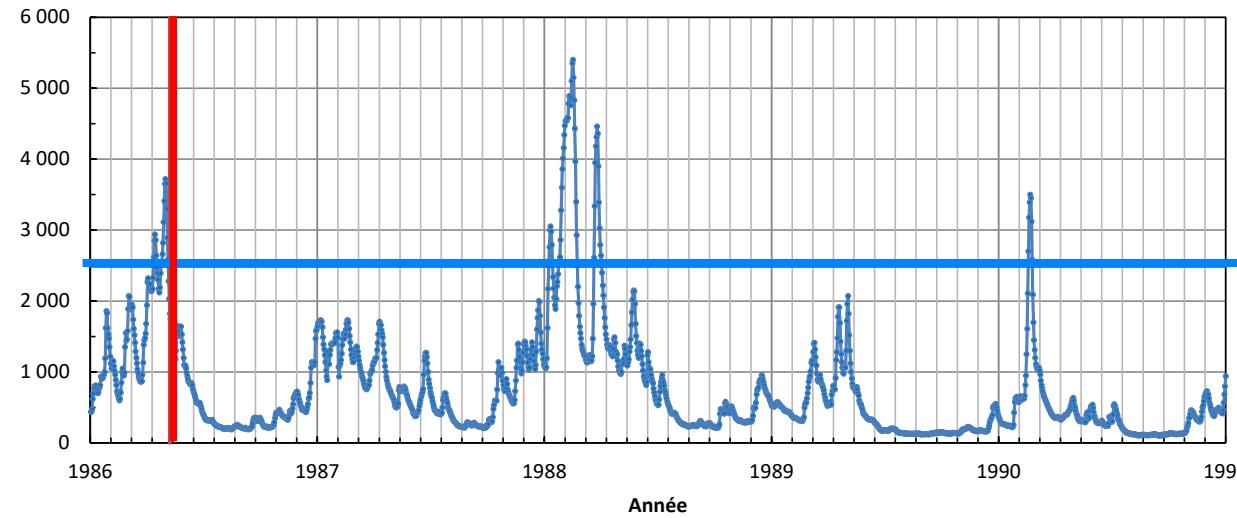
Des marges alluviales  
à proximité du lit mineur



## 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 à minima chaque année  
... dans la mesure du possible**



# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## 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.

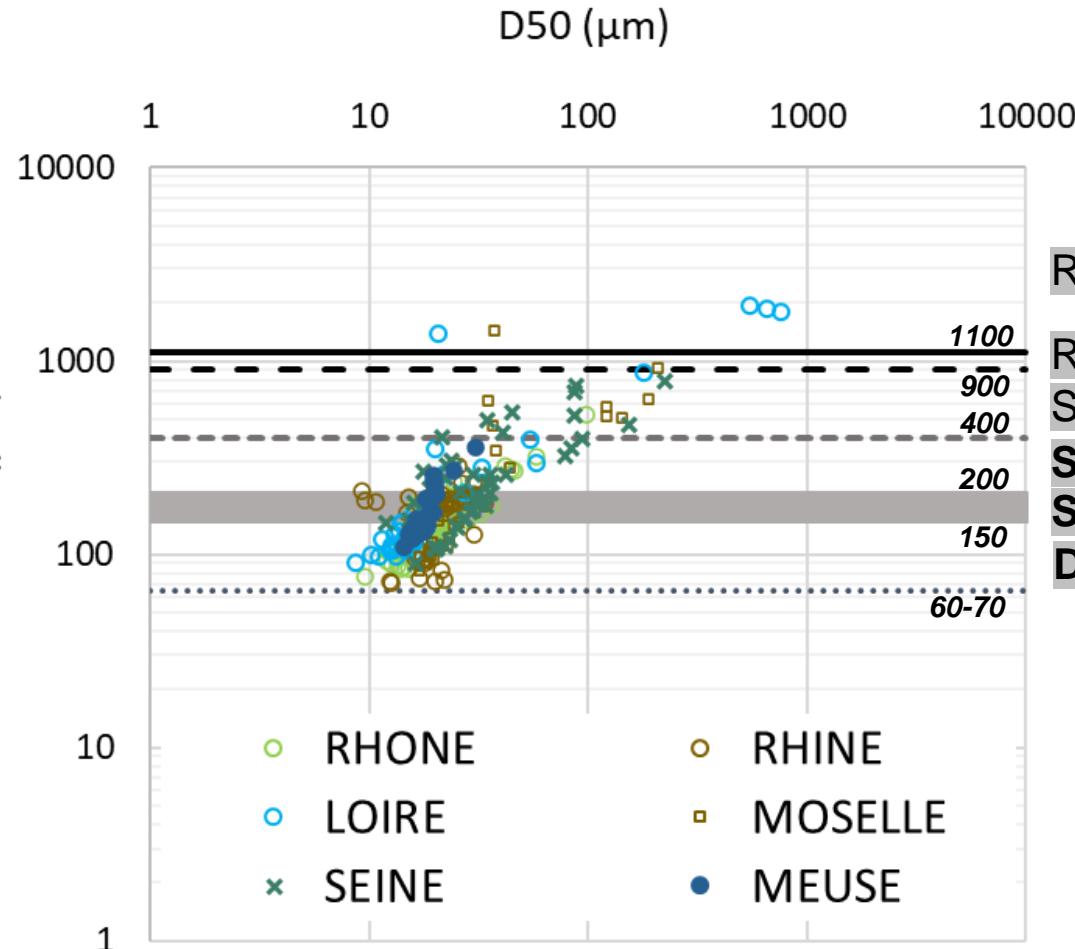


**Taille des particules**

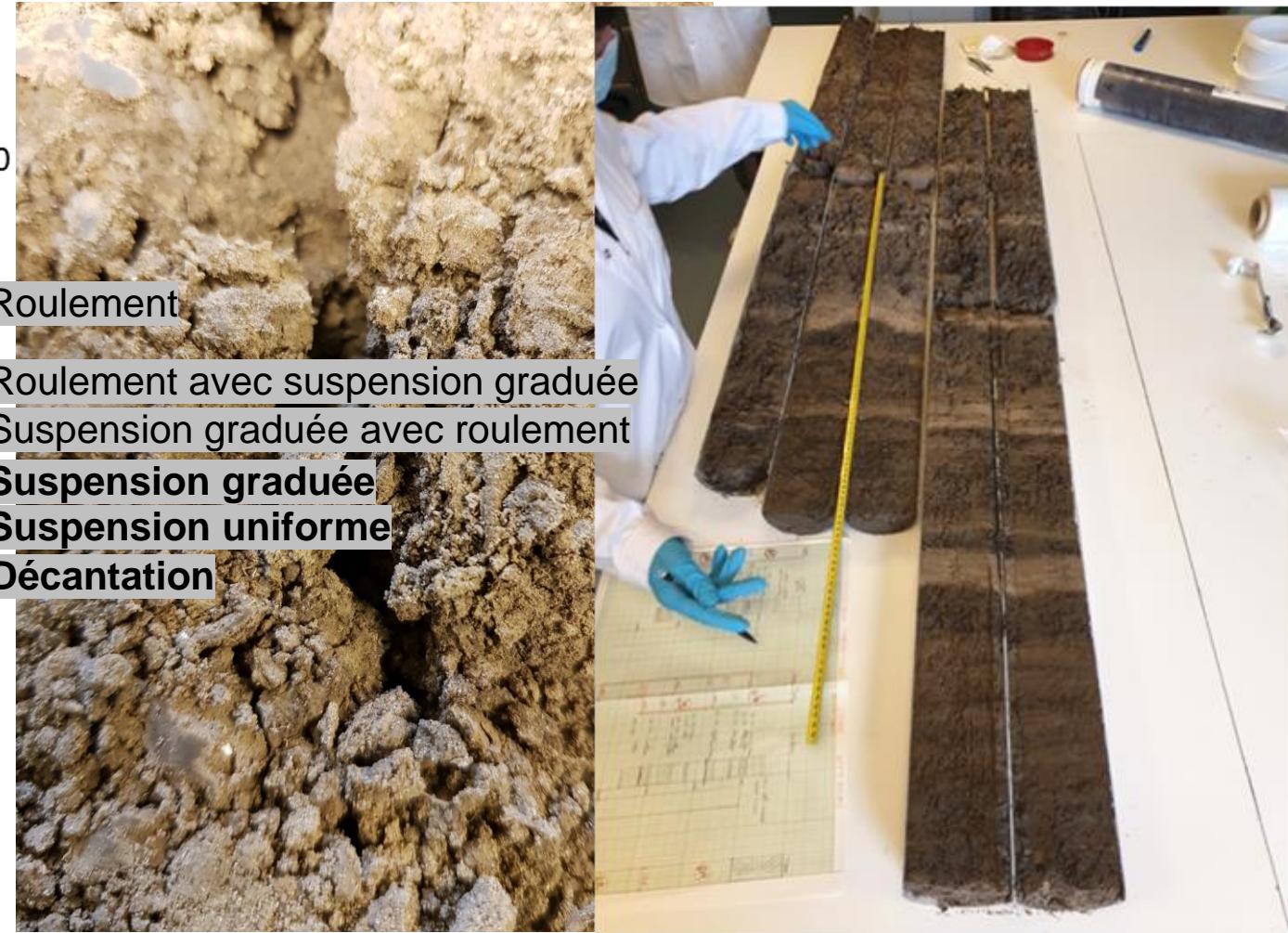
Dépôts continus (zones de « calme hydrodynamique »)  
Dépôts discontinus ou évènementiels (dépôts d'inondation)



## 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 ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , isotopes du plutonium)

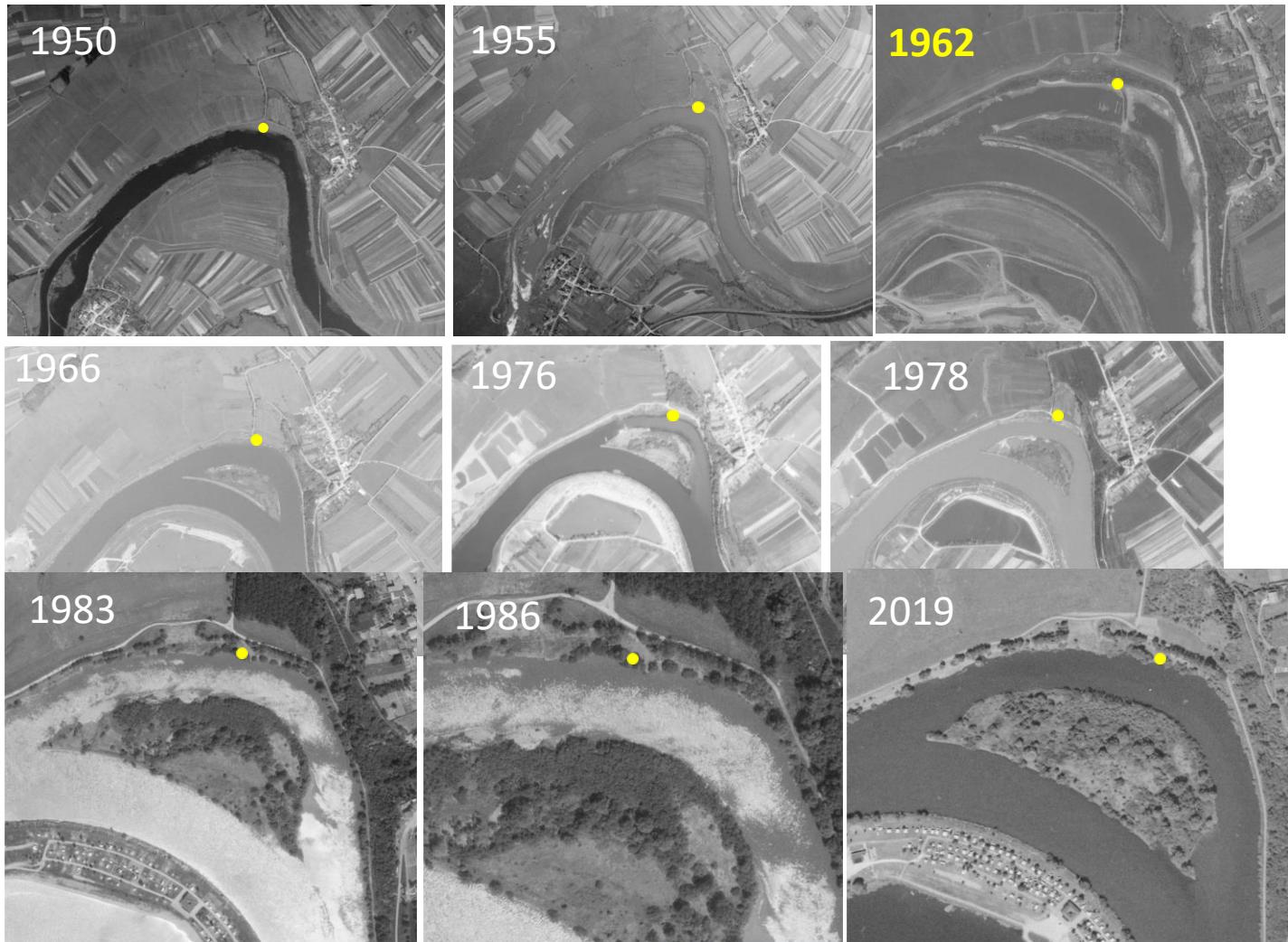


# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## 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 ...*

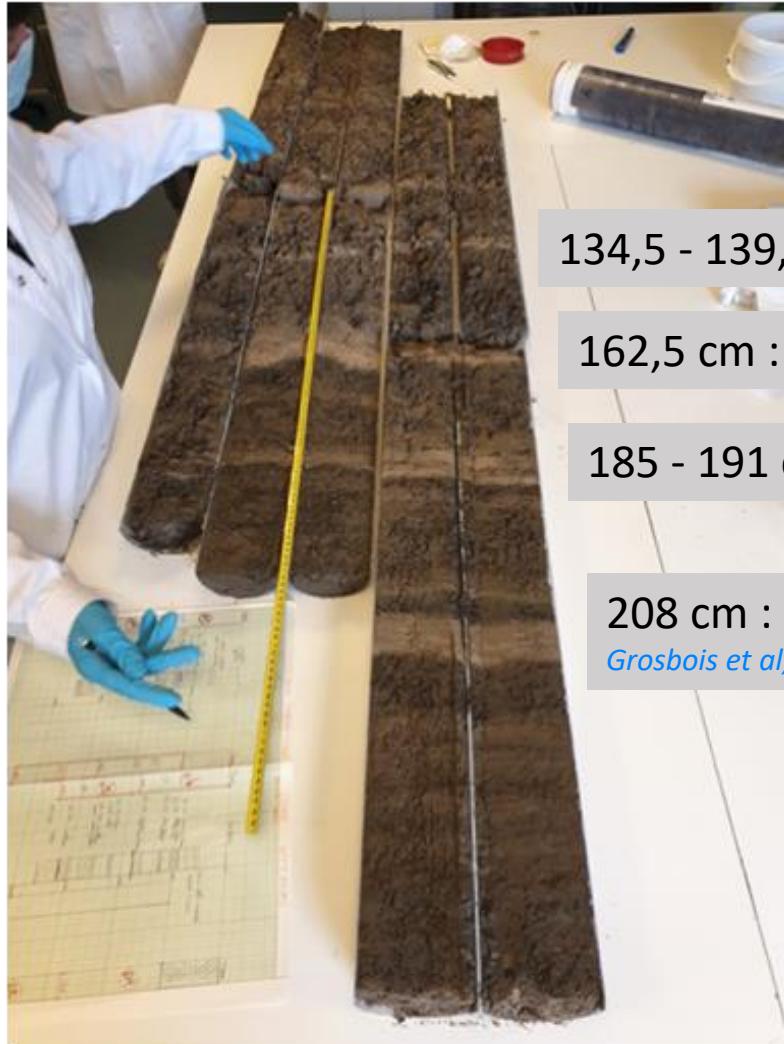
**TRAJECTOIRE MOSELLE - Site de Berg-sur-Moselle**  
Archive collectée le 22 juin 2021

*... 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

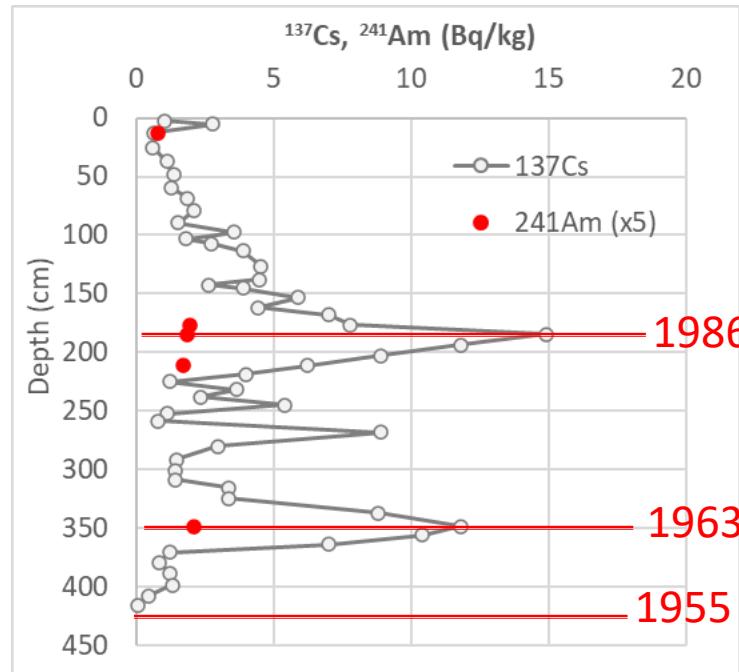


# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

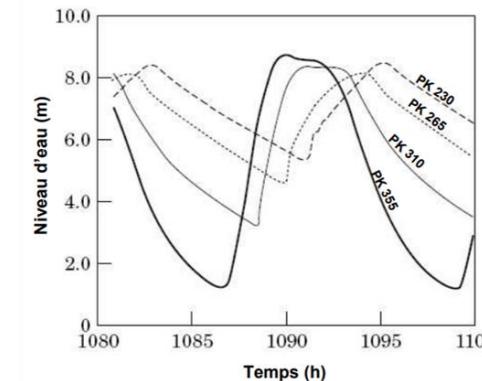
## TRACEURS RADIOACTIFS ( $^{137}\text{Cs}$ , $^{241}\text{Am}$ , ISOTOPES DU PLUTONIUM, ...)



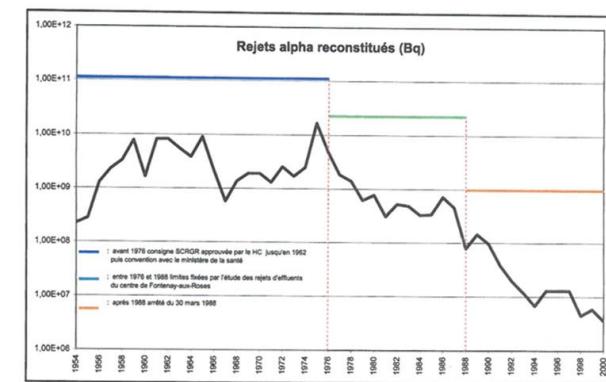
TRAJECTOIRE SEINE – Site d'Orival  
Archive collectée le 25/11/2021



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



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 $^{137}\text{Cs}$ - 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

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

# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE

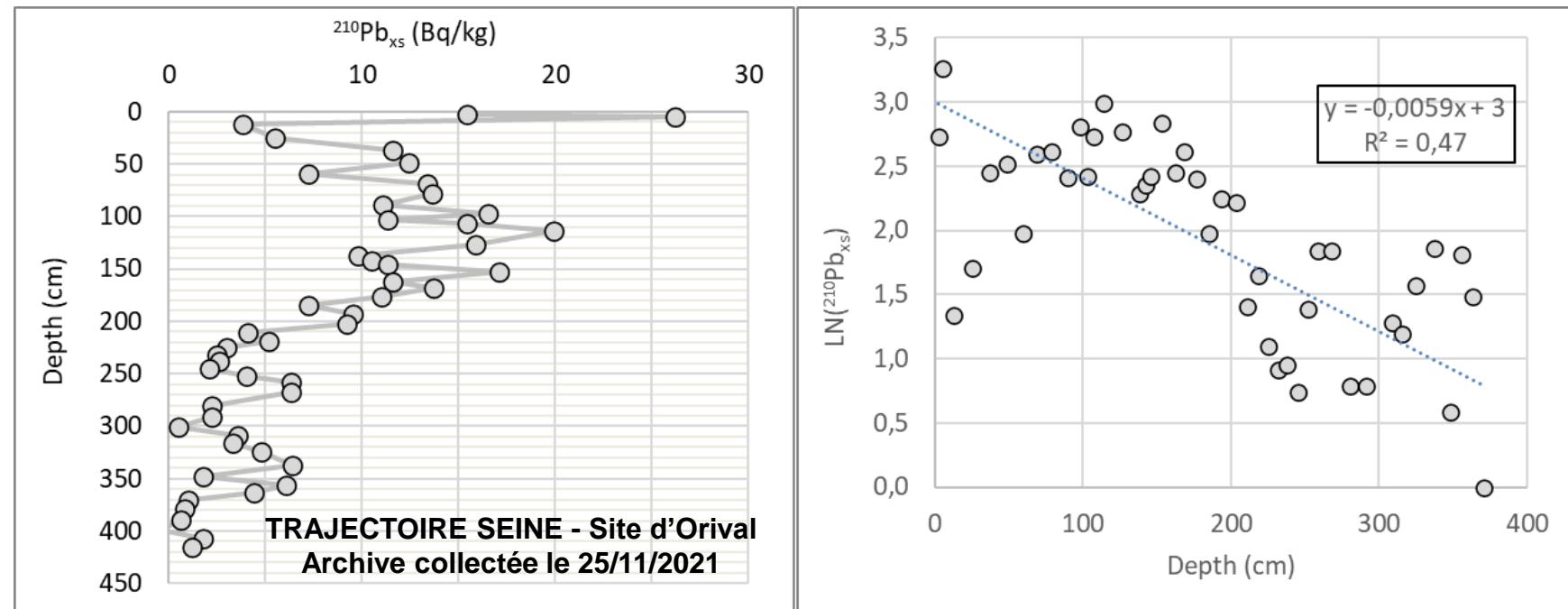


anr<sup>®</sup>

## RADIO-CHRONOMÉTRIE ( $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$ )



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  $\tau$  le taux de sédimentation en cm an<sup>-1</sup>

$\ln^{210}\text{Pb}_{\text{xs}} = -\lambda/\tau x + \ln^{210}\text{Pb}_{\text{xs, initial}}$   
Pente de la droite de régression =  $\lambda/\tau$   
avec  $\lambda = \ln(2)/22,3$  en an<sup>-1</sup>

### Utilisation du $^{210}\text{Pb}_{\text{xs}}$

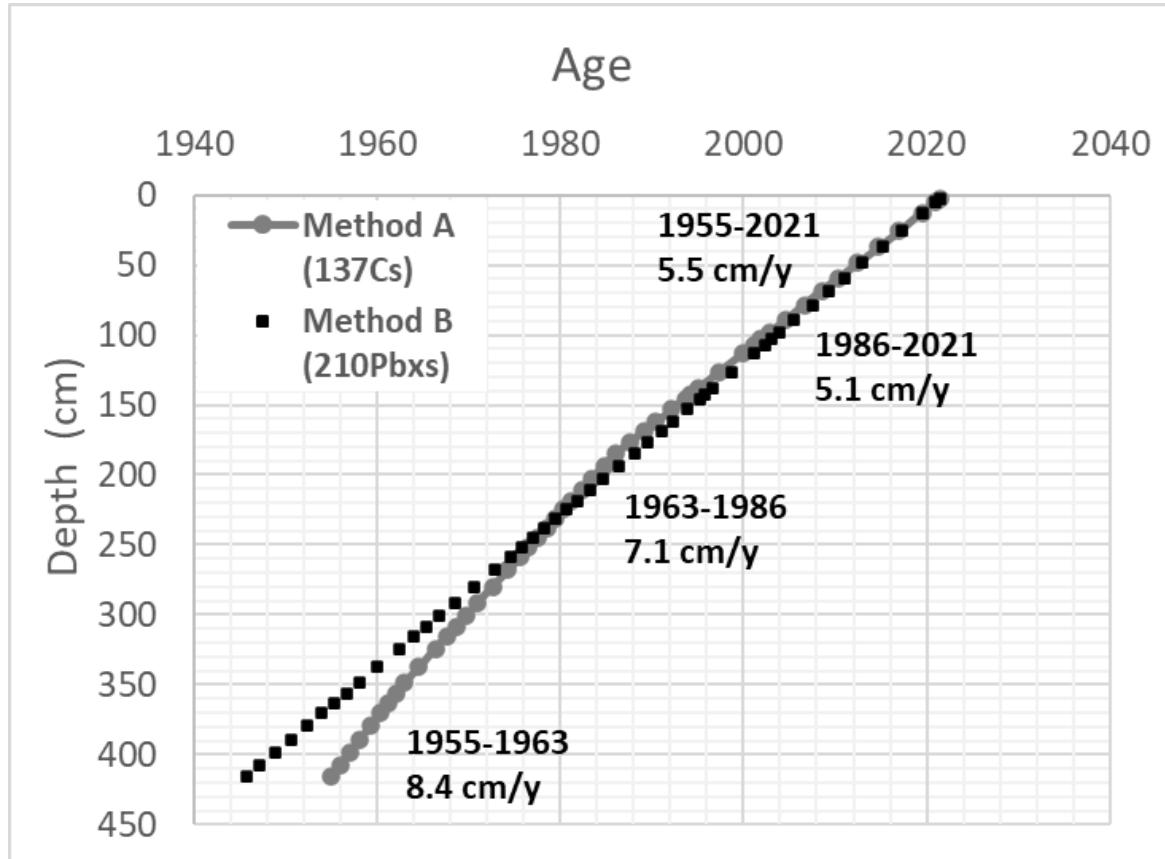
Période	Pente	$R^2$	$\lambda$ , an <sup>-1</sup>	vitesse sédimentation (cm/an)
1955-2021	0,0057	0,49	0,031	5,5

# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## LES MODÈLES D'ÂGE



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



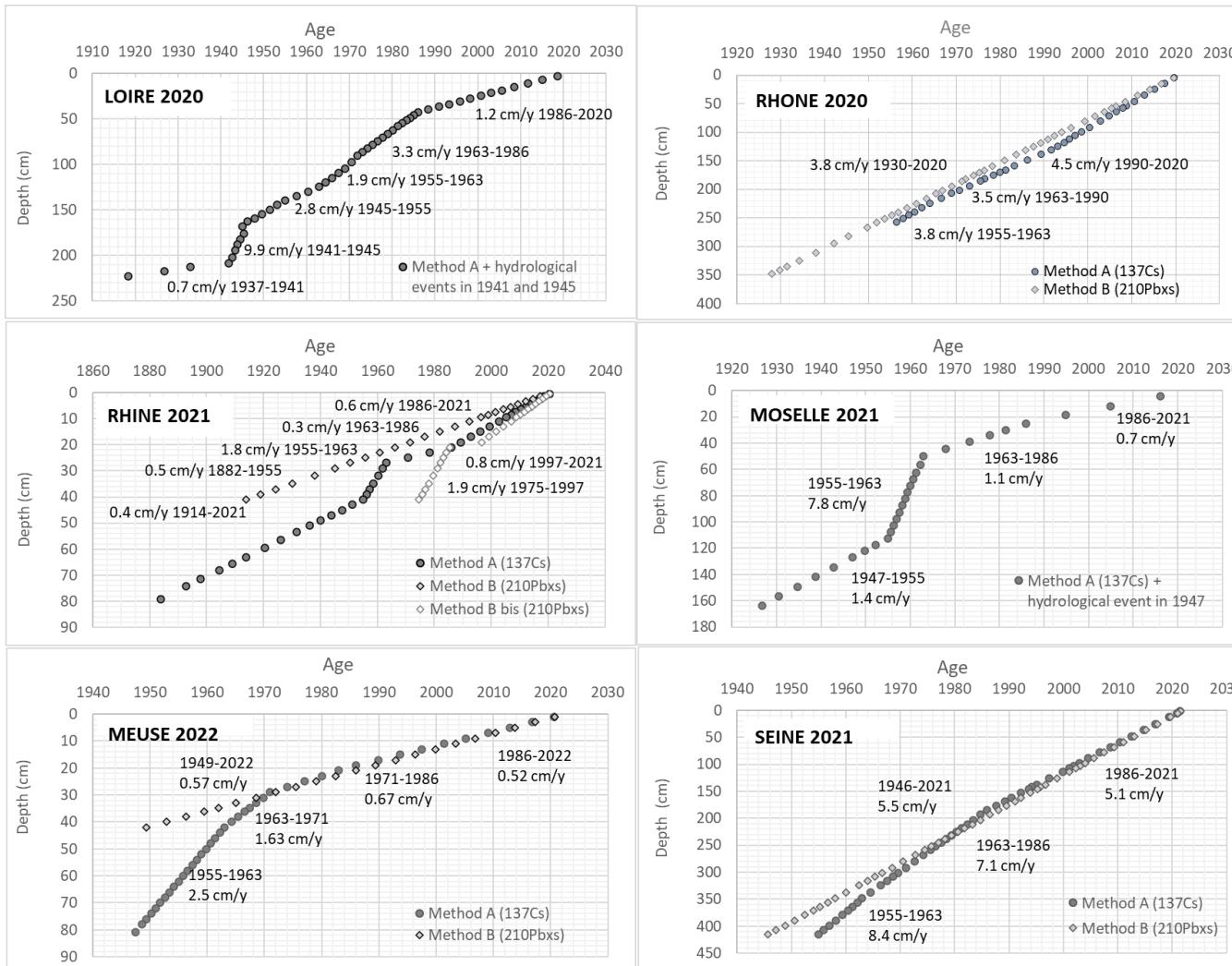
Une archive datée remontant aux années 1950  
à 415,5 cm de profondeur

# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## LES MODÈLES D'ÂGE



scientific reports

OPEN

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

Frédérique Eyrolle<sup>1</sup>, Pierre-Alexis Chabache<sup>2,3</sup>, Hugo Lepage<sup>1</sup>, Valérie Nicoulaud Gouin<sup>1</sup>, Patrick Boyer<sup>1</sup>, Anne De Vismes<sup>4</sup>, Gabrielle Seignemartin<sup>5</sup>, Dominique Badariotti<sup>6</sup>, François Chabaux<sup>7</sup>, Maxime Chastanet<sup>8</sup>, David Claval<sup>1</sup>, Yoann Copard<sup>9</sup>, Alexandra Coynel<sup>8</sup>, Maxime Debret<sup>9</sup>, Claire Delus<sup>10</sup>, Cassandra Euzen<sup>6</sup>, Thomas Gardes<sup>8</sup>, Franck Giner<sup>1</sup>, Rodolfo Gurriaran<sup>1</sup>, Christian Grenz<sup>11</sup>, Cécile Grosbois<sup>12</sup>, Laurence Lestel<sup>13</sup>, Benoît Losson<sup>10</sup>, Laurence Mansuy-Huault<sup>14,15</sup>, Emmanuelle Montargès-Pelletier<sup>14,15</sup>, Amandine Morereau<sup>13</sup>, Brice Mourier<sup>5</sup>, David Mourier<sup>1</sup>, Vincent Olive<sup>10</sup>, Laura Papillon<sup>11</sup>, Jorg Schafer<sup>8</sup>, Laurent Schmitt<sup>6</sup>, Richard Sempere<sup>16</sup>, Thierry Winiarski<sup>5</sup>, Mathilde Zebracki<sup>17</sup> & Olivier Evrard<sup>18</sup>

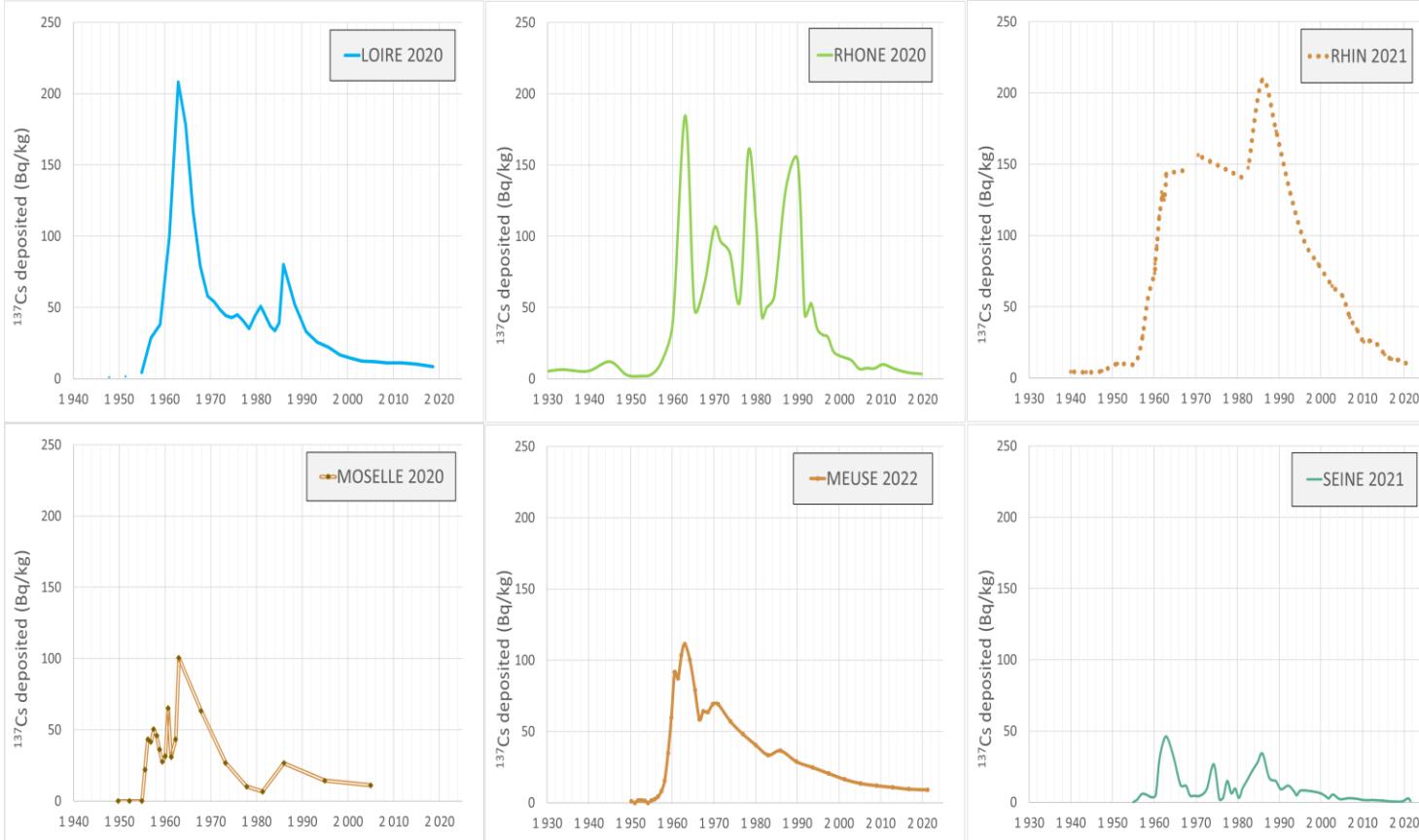


# L'ARCHIVAGE SÉDIMENTAIRE



anr<sup>®</sup>

## TRAJECTOIRES DU $^{137}\text{Cs}$



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

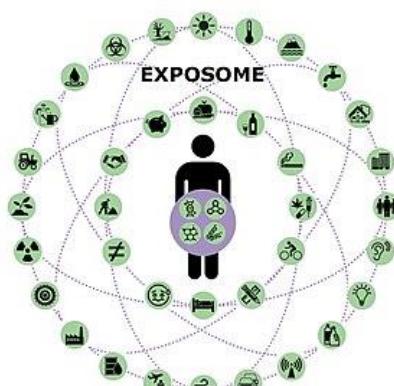
scientific reports

OPEN

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

Frédérique Eyrolle<sup>1,2</sup>, Pierre-Alexis Chaboche<sup>2,3</sup>, Hugo Lepage<sup>1</sup>, Valérie Nicoulaud Gouin<sup>1</sup>, Patrick Boyer<sup>1</sup>, Anne De Vismes<sup>4</sup>, Gabrielle Seignemartin<sup>5</sup>, Dominique Badariotti<sup>6</sup>, François Chabaux<sup>7</sup>, Maxime Chastanet<sup>8</sup>, David Claval<sup>1</sup>, Yoann Copard<sup>9</sup>, Alexandra Coyne<sup>10</sup>, Maxime Debret<sup>9</sup>, Claire Delus<sup>10</sup>, Cassandra Euzen<sup>6</sup>, Thomas Gardes<sup>8</sup>, Franck Giner<sup>1</sup>, Rodolfo Gurriaran<sup>1</sup>, Christian Grenz<sup>11</sup>, Cécile Grosbois<sup>12</sup>, Laurence Lestel<sup>13</sup>, Benoît Losson<sup>10</sup>, Laurence Mansuy-Huault<sup>14,15</sup>, Emmanuelle Montargès-Pelletier<sup>14,15</sup>, Amandine Morereau<sup>13</sup>, Brice Mourier<sup>5</sup>, David Mourier<sup>1</sup>, Vincent Ollive<sup>10</sup>, Laure Papillon<sup>11</sup>, Jörg Schäfer<sup>8</sup>, Laurent Schmitt<sup>6</sup>, Richard Semperé<sup>16</sup>, Thierry Winiarski<sup>5</sup>, Mathilde Zebracki<sup>17</sup> & Olivier Evrard<sup>18</sup>

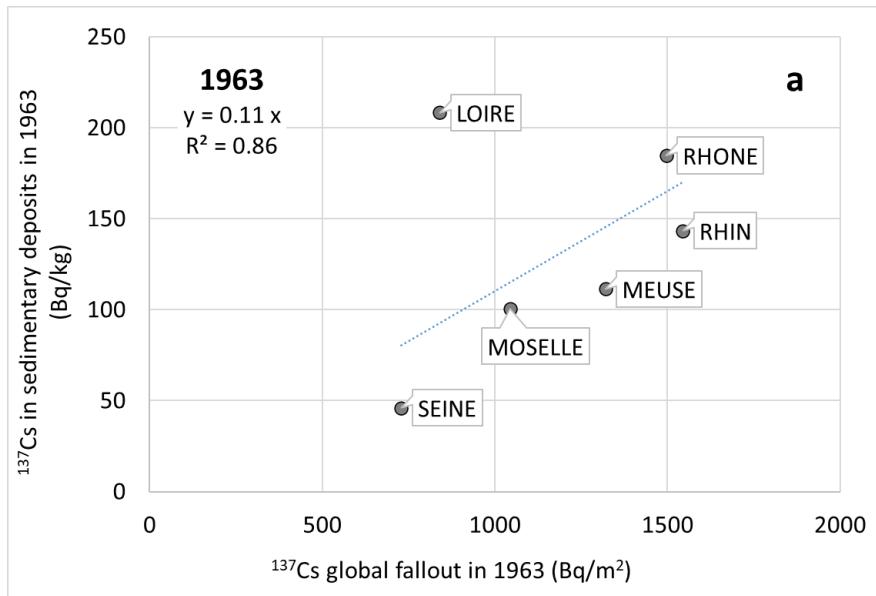
[Check for updates](#)



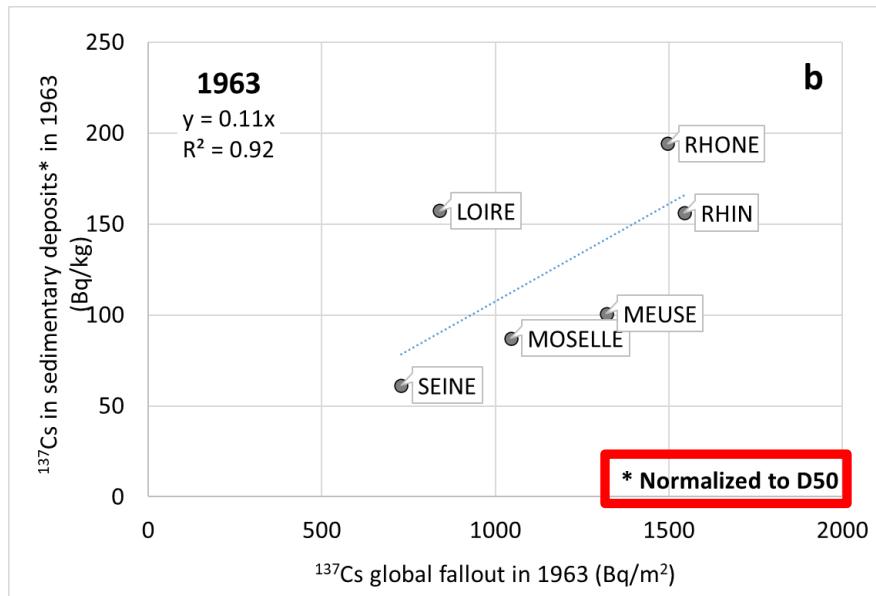
# QUALIFICATION DES TRAJECTOIRES

## DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES / RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES GLOBALES

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



$^{137}\text{Cs}$



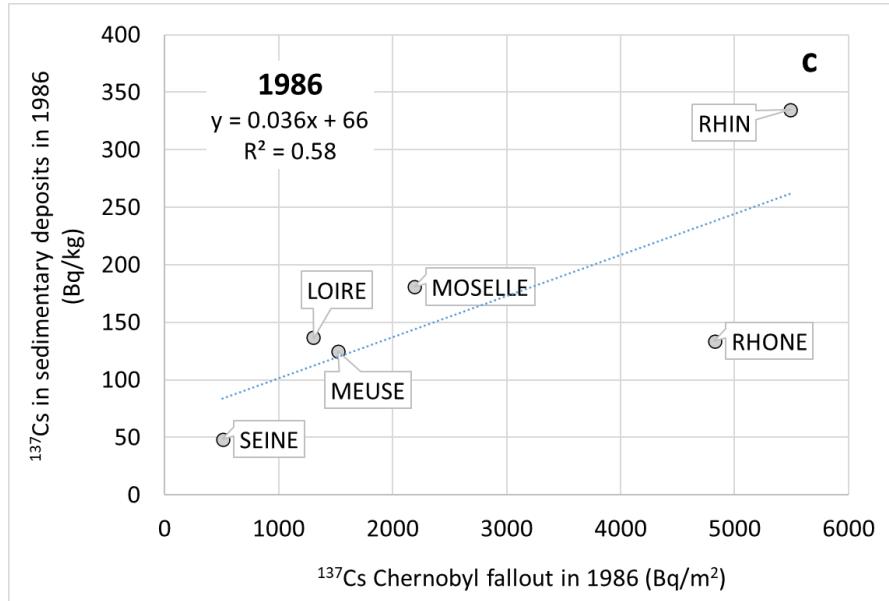
From Eyrolle et al., 2024, Scientific Reports

... témoigne de la représentativité des archives sédimentaires collectées

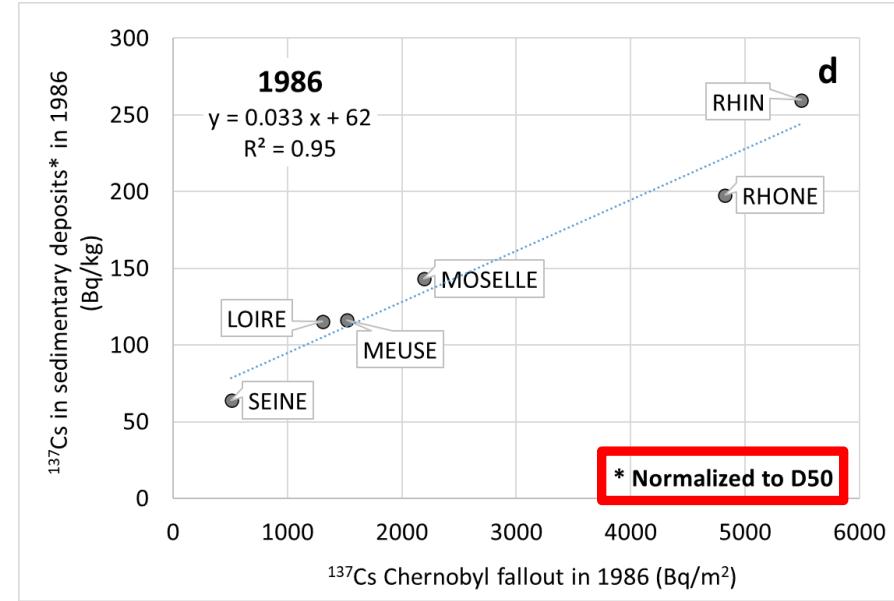
# QUALIFICATION DES TRAJECTOIRES D'ÉTAT

## DÉPÔTS SÉDIMENTAIRES / RETOMBÉES DE TCHERNOBYL

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



$^{137}\text{Cs}$



From Eyrolle et al., 2024, *Scientific Reports*

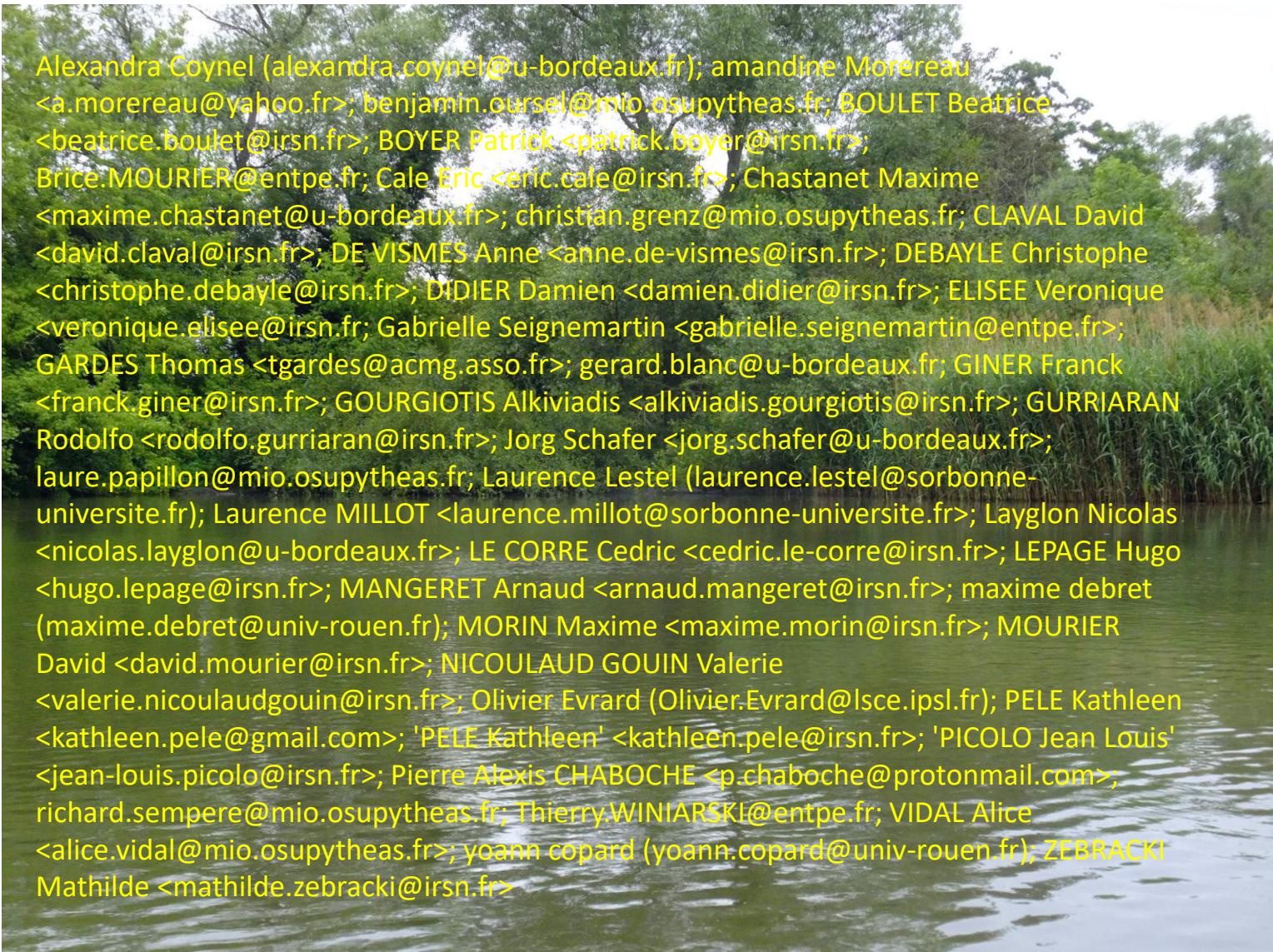
... témoigne de la représentativité des archives sédimentaires collectées

Résultat phare :

Les paramètres de transferts atmosphère/sols/sédiments sont proches quel que soit le BV (en France et > 10 000 km<sup>2</sup>)



# REMERCIEMENTS



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

