

Arrêté de prescription : 18/0257  
Arrêté modificatif : 19/0631  
Arrêté d'attribution : 18/0349  
Arrêté de désignation : 19/0648

Interventions terrain :  
04 novembre 2019-28 février 2019  
01-02 octobre 2020 (Îles des Baffaits)

OA : 0612484

Service de l'Archéologie Préventive  
Direction du Patrimoine et des  
Ressources Partagées  
45945 Orléans  
Tel. : 02 38 25 45 45 - [www.loiret.fr](http://www.loiret.fr)

# Déviations de Jargeau

RD921

Tranche 6

Communes de Jargeau et Darvoy

(Loiret, Centre - Val de Loire)

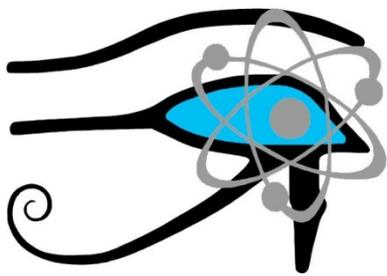
Complément d'analyse

Laure de Souris



et : Éric Frénée (Inrap), Morgane Liard (Inrap),  
Aurélien Hamel (CD85)

Novembre 2020



# Re.S.Artes

Le Regard de la Science sur les Arts et le patrimoine culturel

## **Rapport d'analyse R 243987A**

RD921 – Jargeau/Saint-Denis-de-l'Hotel (45) :

Datation par OSL de quatre prélèvements de sédiment

## 1 – PROBLÉMATIQUE CHRONOLOGIQUE

L'étude de datation présentée ici concerne une fouille archéologique menée sur la RD921, tranche 6 de la déviation de Jargeau/Saint-Denis-de-l'Hôtel (45, Loiret).

L'objectif est de participer à l'établissement de la chronologie de la stratigraphie à partir de la datation par OSL de 4 prélèvements sédimentaires, OSL1 à OSL4 provenant de lits sableux.

## 2 – MATÉRIEL À DATER

Le matériel sélectionné pour la datation est présenté Tableau 1.

Echantillons	Référencement de la datation	Description du prélèvement	Méthode de datation	Analyses envisagées
OSL 1 US25002	S220146	Sédiment sableux	OSL	OSL, Spectrométrie gamma à bas bruit de fond
OSL 2 US32002	S220147	Sédiment sableux	OSL	OSL, Spectrométrie gamma à bas bruit de fond
OSL 3 US31017	S220148	Sédiment sableux	OSL	OSL, Spectrométrie gamma à bas bruit de fond
OSL 4 US31019	S220149	Sédiment sableux	OSL	OSL, Spectrométrie gamma à bas bruit de fond

Tab. 1 : Description des prélèvements à dater par OSL.

## 3 – DATATION PAR OSL

Cette approche permet de dater la dernière exposition à la lumière des cristaux contenus dans un sédiment. Il est ainsi possible de déterminer le moment du recouvrement de la couche stratigraphique à étudier.

### Principe de la méthode

L'OSL (comme la thermoluminescence) repose sur l'étude de la radioactivité naturelle et la capacité des cristaux à accumuler les effets de cette irradiation [1-7]. L'énergie ainsi apportée, ou dose d'irradiation, exprimée en grays (Gy), est stockée dans des défauts des cristaux. Cette énergie est proportionnelle à l'intensité de la radioactivité reçue par unité de temps et au temps pendant lequel ils sont soumis à cette irradiation.

L'OSL correspond à l'émission de lumière (luminescence) provoquée par un apport d'énergie sous forme optique (ou lumineuse). L'intensité de cette luminescence est proportionnelle à l'énergie absorbée par le cristal et dépend donc de la dose d'irradiation accumulée au cours du temps.



Les expériences d'OSL permettent de déterminer la dose d'irradiation naturelle ( $Q_{Nat}$  ou ED pour Equivalent Dose) reçue depuis un instant zéro qui correspond, pour les sédiments éoliens en particulier, à la dernière exposition des cristaux à la lumière ("blanchiment"). Elle est mesurée en utilisant un protocole expérimental dénommé SAR (Single Aliquot and Regeneration) permettant l'obtention de résultats précis [8-11]. Cette procédure s'appuie sur la comparaison directe entre l'intensité de luminescence mesurée sur le matériau archéologique et celles générées par des irradiations connues au laboratoire.

Parallèlement, il est nécessaire de déterminer la dose d'irradiation annuelle ( $I$ ) reçue par les cristaux. Elle rend compte de la quantité d'énergie déposée chaque année par les particules  $\alpha$  et  $\beta$  et les photons  $\gamma$  et produite par les éléments radioactifs présents dans toute matière ; pour cela nous utilisons des tables de correspondance activité de l'élément radioactif / dose d'irradiation [12]. Elle recouvre l'irradiation qui émane du matériau lui-même, de son environnement ainsi qu'une contribution du rayonnement cosmique [13].

Le rapport de ces deux grandeurs donne l'âge entre l'instant zéro et l'étude du matériau en laboratoire :

$$T(ans) = \frac{Q_{Nat}(Gy)}{I(Gy/an)}$$

Signalons enfin que dans le cas de sédiments fluviatiles ou fluvio-glaciaires, le risque d'une exposition insuffisante à la lumière solaire, entraînant un vieillissement des âges, n'est pas à exclure [14-15]. C'est pourquoi, dans ce cas, nous porterons une attention toute particulière à une série d'expériences préalables destinées à tester ce point.

## Préparation des échantillons

Les échantillons de sédiment ont été préparés selon des procédures adaptées aux méthodes d'analyse employées.

Ainsi, pour les mesures d'OSL, les sédiments ont été tamisés afin de sélectionner une granulométrie comprise entre 100 et 150 $\mu$ m. Les poudres ainsi obtenues pour chaque échantillon ont été traitées chimiquement : HCl 8% pour éliminer les carbonates, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30% pour éliminer les matières organiques, puis HF 40% pour éliminer les feldspaths et permettre ainsi la sélection exclusive des quartz.

Parallèlement, les mesures de radioactivité ont été effectuées sur les sédiments bruts, séchés (105°C pendant 24h) puis conditionnés dans des boîtes plastiques hermétiques afin de permettre une mesure par spectrométrie gamma à bas bruit de fond après attente d'un mois pour assurer le retour à l'équilibre du radon.

## Mesure de la dose d'irradiation naturelle par OSL

### Méthodologie OSL – Protocole SAR

La méthode SAR (Single Aliquot and Regeneration) est une procédure mise en place au cours des années 2000 [8-11] consistant à déterminer la dose d'irradiation naturelle à partir d'une interpolation au travers de mesures effectuées après régénération du signal d'OSL avec une dose d'irradiation connue.

Toutes les expériences sont effectuées sur la même prise d'essai. Au total, 18 disques ont été étudiés, ce qui permet l'obtention de 18 mesures de la dose naturelle ( $Q_{nat}$  ou ED).

Les changements de sensibilité classiquement observés sur les quartz sont contrôlés et corrigés par des mesures de calibration obtenues après une irradiation avec une dose test.

## Mesures

Les mesures d'OSL ont été réalisées dans un lecteur Risø TL-DA15 automatisé équipé avec des couronnes de LED (diodes électroluminescentes) infrarouges (870 +/- 40nm) et bleues (470 +/- 40nm).

Le protocole SAR a été appliqué en effectuant les mesures avec les diodes bleues, après avoir éclairé les cristaux sur les disques avec les diodes infrarouges.

L'utilisation de l'éclairage infrarouge permet d'une part de réduire l'éventuelle contribution du signal de luminescence émanant des feldspaths, et d'autre part de fournir un autre moyen de déterminer la dose naturelle.

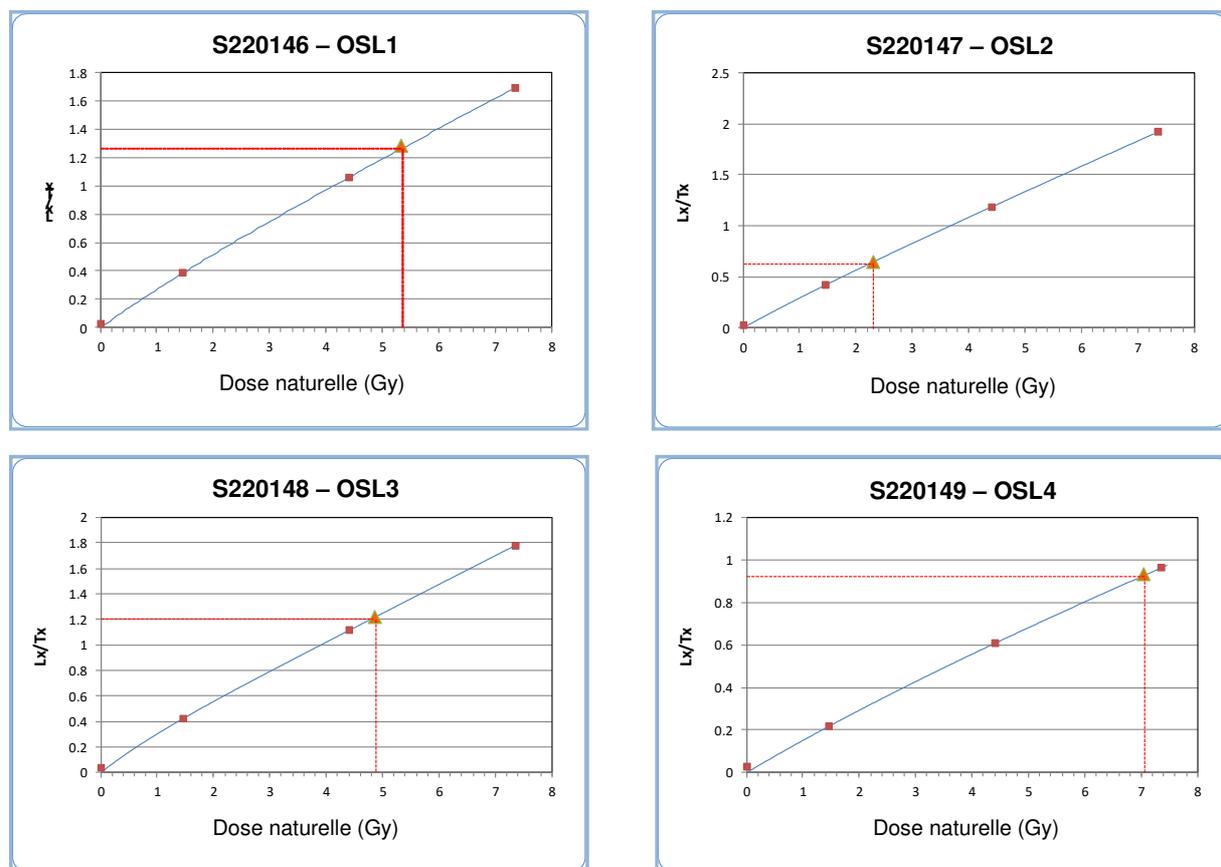
Pour les quatre échantillons analysés, nos mesures n'ont pas révélé la présence d'un signal sous l'éclairage infrarouge. Ceci traduit l'absence de composantes feldspathiques (ces minéraux peuvent être sujets au « fading anormal » entraînant une sous-estimation des valeurs de dose équivalente s'il n'en était pas tenu compte) et suggère que le signal OSL mesuré est dominé par les quartz. Un exemple de mesure de dose obtenue sur un disque de chaque prélèvement est donné Figure 1.

## Résultats obtenus

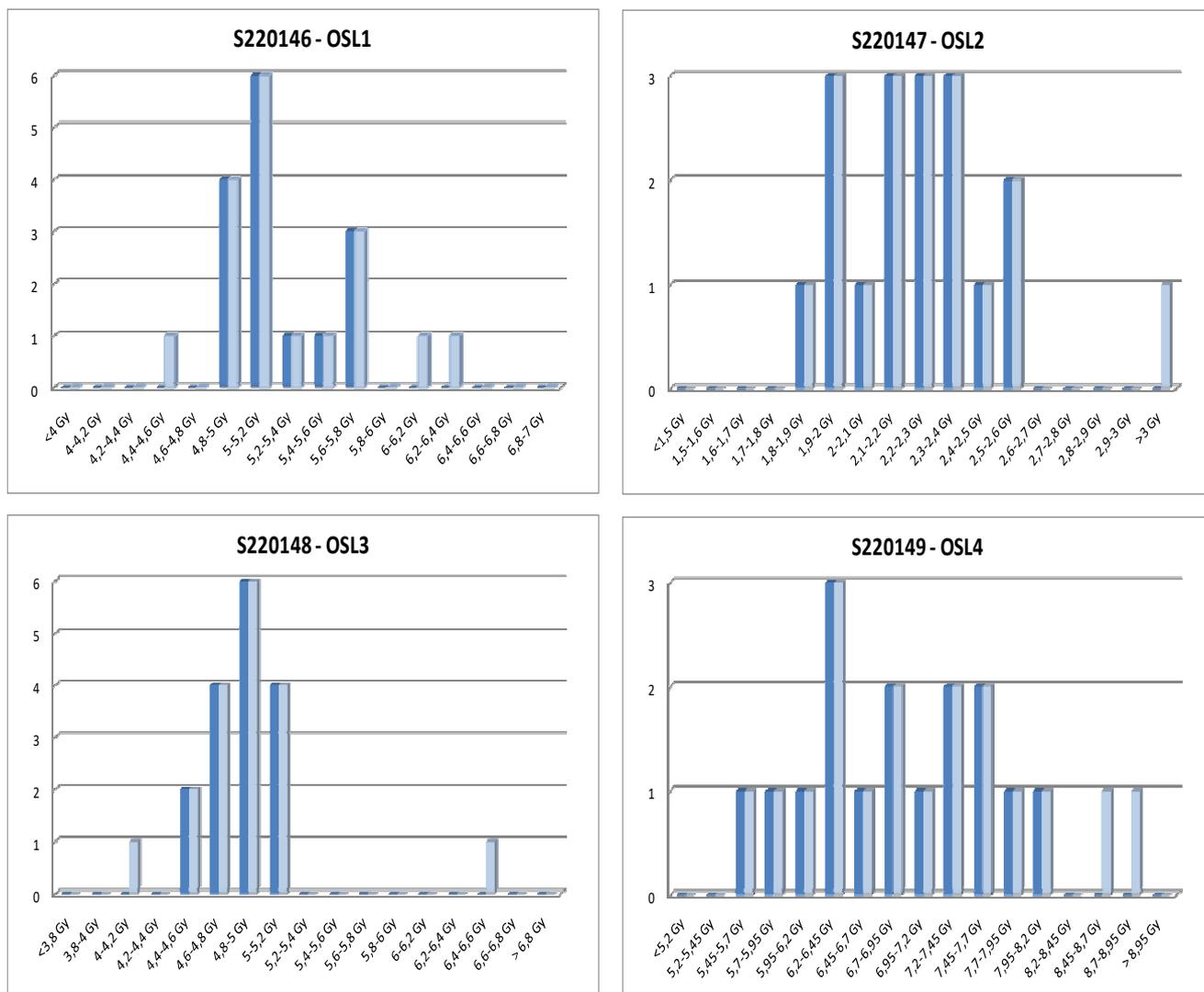
La distribution des mesures effectuées sur les grains de granulométrie comprise entre 100 et 150 µm montre qu'ils ont été bien exposés à la lumière avant leur recouvrement.

Les distributions des valeurs de dose naturelle obtenues pour chaque échantillon sont présentées Figure 2 et Tableau 2.

Les résultats retenus sont synthétisés au Tableau 3.



**Fig. 1 :** Exemples de mesure de dose naturelle par OSL. La courbe bleue représente la régénération du signal avec des doses d'irradiation connues. L'intersection de la valeur de l'intensité mesurée sur l'axe des ordonnées (Lx/Tx) avec cette courbe donne la dose d'irradiation naturelle sur l'axe des abscisses.



**Fig. 2** : Distribution des valeurs de dose naturelle obtenues pour chaque prélèvement sédimentaire. En bleu clair sont représentées les distributions des valeurs mesurées, et en bleu foncé les distributions des valeurs retenues. Elles montrent que les sédiments ont été suffisamment exposés à la lumière solaire avant leur recouvrement.



Dose d'irradiation naturelle mesurée pour chaque disque (Gy)			
S220146 – OSL1	S220147 – OSL2	S220148 – OSL3	S220149 – OSL4
4,59	1,87	4,16	5,51
4,95	1,93	4,59	5,79
4,96	1,94	4,59	6,03
4,97	1,96	4,61	6,33
4,99	2,06	4,64	6,34
5,13	2,1	4,64	6,34
5,15	2,16	4,66	6,63
5,16	2,17	4,8	6,72
5,17	2,22	4,84	6,75
5,18	2,25	4,87	7,07
5,19	2,29	4,95	7,26
5,3	2,3	4,95	7,44
5,43	2,38	4,98	7,57
5,61	2,39	5,01	7,63
5,66	2,41	5,05	7,71
5,73	2,58	5,06	8,18
6,11	2,59	5,14	8,48
6,24	3,11	6,58	8,93

**Tab. 2 :** Valeurs de doses d'irradiation naturelle obtenues pour les quatre échantillons. En gris sont notées les mesures que nous excluons du calcul final des doses d'irradiation naturelles.

Echantillons	Dose naturelle (Gy)
	Moyenne des mesures
S220146 – OSL1	5,24 ± 0,06
S220147 – OSL2	2,21 ± 0,05
S220148 – OSL3	4,84 ± 0,05
S220149 – OSL4	6,83 ± 0,18

**Tab. 3 :** Détermination des doses d'irradiation naturelles par OSL à partir des mesures retenues pour les échantillons OSL1 (15 disques), et OSL3 et OSL 4 (16 disques) et OSL2 (17 disques).

## Détermination de la dose d'irradiation annuelle

Les mesures ont été effectuées sur une fraction des échantillons étudiés en OSL. Dans ce sens ils sont indiscernables et sont affectés de la même numérotation.

### Contribution des échantillons et de leur environnement

La radioactivité des échantillons et de leur environnement (c'est-à-dire eux-mêmes) a été déterminée à partir des activités en éléments radioactifs (K, U, Th) obtenues par spectrométrie gamma à bas bruit de fond, et en tenant compte également de l'humidité des matériaux.

Les activités ont été transformées en dose d'irradiation à l'aide d'une table de correspondance activité/dose [12]. Les résultats sont présentés Tableau 4.

	Doses (mGy/an)			
	S220146 - OSL1	S220147 - OSL2	S220148 - OSL3	S220149 - OSL4
U( $U^{238}$ )	0,088 ± 0,008	0,095 ± 0,015	0,085 ± 0,015	0,038 ± 0,010
U( $Ra^{226}$ )	0,809 ± 0,102	0,732 ± 0,090	0,692 ± 0,086	0,309 ± 0,056
$U^{235}$	0,020 ± 0,009	0,018 ± 0,008	0,021 ± 0,010	0,009 ± 0,009
Th	1,272 ± 0,053	1,093 ± 0,048	0,988 ± 0,046	0,449 ± 0,040
K	2,929 ± 0,087	2,855 ± 0,080	2,889 ± 0,087	3,122 ± 0,120
Rb*	0,064 ± 0,007	0,062 ± 0,007	0,063 ± 0,007	0,068 ± 0,011
H <sub>2</sub> O (%) **	10,1 ± 1	13,9 ± 1	7 ± 1	2,5 ± 2,5
<b>Dose annuelle matériaux</b>	<b>5,182 ± 0,150</b>	<b>4,856 ± 0,141</b>	<b>4,737 ± 0,142</b>	<b>3,963 ± 0,162</b>

**Tab. 4 :** Doses d'irradiation annuelles déterminées pour chaque échantillon. Les deux valeurs obtenues pour l'uranium correspondent aux mesures effectuées à partir des éléments en tête de chaîne ( $U(U^{238})$ ) et en fin de chaîne ( $U(Ra^{226})$ ). Nous tenons compte de la différence entre ces deux valeurs, s'il y a lieu, en considérant un déséquilibre progressif au cours du temps. Le rubidium ( $Rb^*$ , en vert) est affecté d'une valeur calculée en fonction de la teneur en potassium. Enfin, pour l'humidité des sédiments ( $H_2O^{**}$ ) nous avons adopté les mesures effectuées sur les échantillons reçus au laboratoire, dites « humidité naturelle ». Nous pouvons remarquer que l'échantillon OSL4 est particulièrement sec.

### Contribution du rayonnement cosmique

La contribution cosmique à la radioactivité annuelle a été calculée conformément aux équations publiées [13]. Elle prend en compte la latitude des prélèvements (47,8661°N pour OSL1, et 47,8666°N pour les autres), leurs longitudes (2,0840°E pour OSL1 et 2,0848°E pour les autres), les altitudes par rapport au niveau de la mer ainsi que la profondeur de chaque échantillon par rapport à ces points. Une densité moyenne de 1,8 g/cm<sup>3</sup> a été adoptée pour ces sédiments en grande partie silicatés. Les résultats obtenus sont présentés Tableau 5.

	Altitude (m)	Profondeur (m)	I <sub>cosmique</sub> (mGy/an)
S220146 – OSL1	102,40	1,5	0,176 ± 0,009
S220147 – OSL2	101,89	0,4	0,209 ± 0,010
S220148 – OSL3	101,89	1,0	0,187 ± 0,009
S220149 – OSL4	101,89	1,4	0,178 ± 0,009

**Tab. 5 :** Calcul de la contribution du rayonnement cosmique à la dose d'irradiation annuelle.



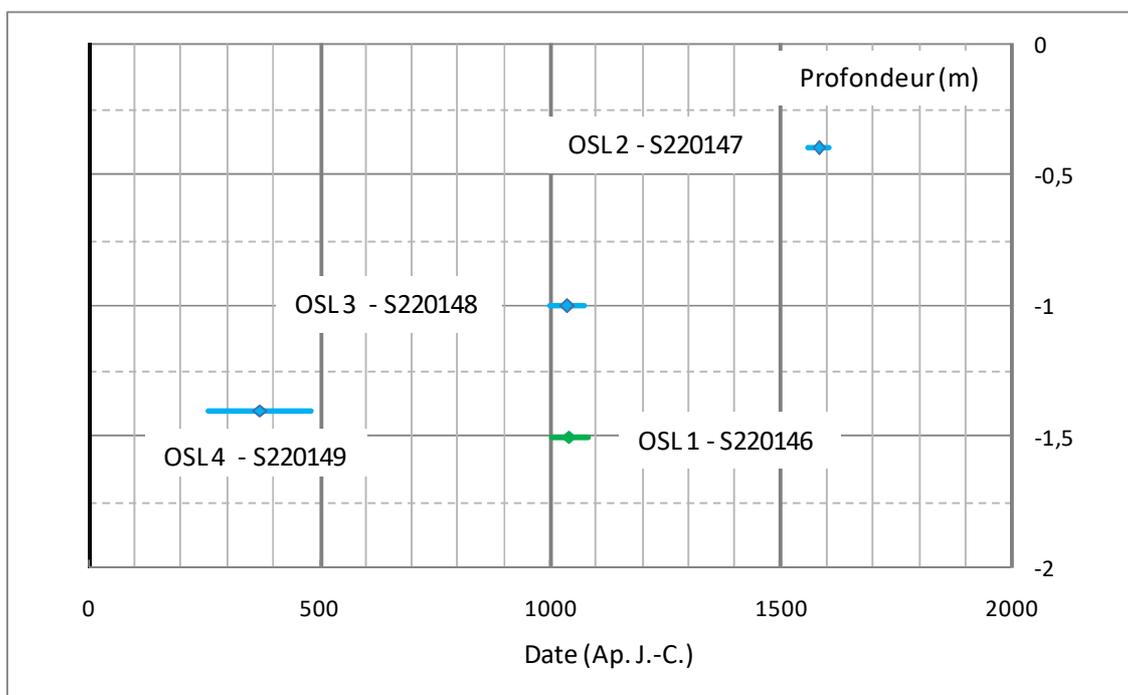
## Calcul des âges OSL

Le tableau 6 résume les différentes données obtenues à l'issue de l'analyse des échantillons S220146 à S220149, par OSL et spectrométrie gamma à bas bruit de fond.

Nous en déduisons l'âge de la dernière exposition à la lumière solaire des sédiments étudiés, à partir de l'équation :  $T = \frac{Q_{nat}}{I_{total}}$ . Ces valeurs sont ensuite converties en intervalles de dates, tels que présentés Figure 3.

	S220146 – OSL1	S220147 – OSL2	S220148 – OSL3	S220149 – OSL4
<b>Q<sub>nat</sub> (Gy)</b>	<b>5,24 ± 0,06</b>	<b>2,21 ± 0,05</b>	<b>4,84 ± 0,05</b>	<b>6,83 ± 0,18</b>
I <sub>matériaux</sub> (mGy/an)	5,182 ± 0,150	4,856 ± 0,141	4,737 ± 0,142	3,963 ± 0,162
I <sub>cosm.</sub> (mGy/an)	0,176 ± 0,009	0,209 ± 0,010	0,187 ± 0,009	0,178 ± 0,009
<b>I<sub>total</sub> (mGy/an)</b>	<b>5,358 ± 0,151</b>	<b>5,065 ± 0,142</b>	<b>4,924 ± 0,143</b>	<b>4,141 ± 0,163</b>
<b>Age OSL (ans)</b>	<b>978 ± 39 ans</b>	<b>437 ± 22 ans</b>	<b>982 ± 38 ans</b>	<b>1650 ± 109 ans</b>
<b>Intervalles de dates (Ap. J.-C.)</b>	<b>[1003 - 1082]</b>	<b>[1561 - 1606]</b>	<b>[1000 - 1076]</b>	<b>[261 - 480]</b>

**Tab. 6 :** Résumé des valeurs obtenues pour les doses d'irradiation naturelle ( $Q_{nat}$ ) et annuelle ( $I_{totale}$  est obtenue par la somme des contributions des matériaux et des cosmiques à l'irradiation annuelle). L'ensemble de ces mesures donne les âges OSL ( $T = Q_{nat}/I_{totale}$ ) à partir desquels on détermine les intervalles de dates qualifiant le moment du recouvrement des couches sédimentaires.



**Fig. 3 :** Représentation graphique des intervalles de dates OSL déterminés pour les échantillons OSL1 à OSL4 (respectivement S220146 à S220149). En ordonnée nous avons représenté la profondeur de chaque prélèvement. Nous avons également distingué OSL1 (en vert) des autres échantillons, étant donné qu'il a été prélevé dans une autre coupe stratigraphique.

## 4 – CONCLUSIONS

---

La datation par OSL de quatre prélèvements sédimentaires provenant de la tranche 6 du contournement de Jargeau/Saint-Denis-de-l'Hôtel sur la RD921 met en évidence les informations suivantes :

- Les sédiments prélevés à des profondeurs différentes ont permis d'obtenir les résultats suivants :

T(OSL1) = **978 ± 39 ans**, soit [1003 - 1082] AD

T(OSL2) = **437 ± 22 ans**, soit [1561 - 1606] AD

T(OSL3) = **982 ± 38 ans**, soit [1000 - 1076] AD

T(OSL4) = **1650 ± 109 ans**, soit [261 - 480] AD

- L'échantillon OSL4 caractérise le fait le plus ancien de la série : il se place entre la fin du III<sup>ème</sup> siècle et la fin du V<sup>ème</sup> siècle. L'incertitude associée à sa datation est plus importante que pour les autres résultats (6,6% contre 4 à 5%). Ceci s'explique par la très faible humidité naturelle mesurée pour ce prélèvement, qui a amené à accroître l'incertitude associée à ce paramètre.
- Les échantillons OSL1 et OSL3, issus de deux coupes distinctes, sont trouvés contemporains : ils se placent dans le courant du XI<sup>ème</sup> siècle. Ils pourraient caractériser la même couche sédimentaire, abordée selon deux points différents. Cela est en accord avec le fait que les altitudes de ces deux prélèvements par rapport au niveau de la mer sont très proches.
- Le prélèvement OSL2 est plus récent : il se situe dans la seconde moitié du XVI<sup>ème</sup> siècle.

Fait à Bordeaux le 14 Décembre 2020

Dr Emmanuel Vartanian

*Cette étude a été menée en collaboration avec l'Université de Ioannina (Département de Physique), Grèce.*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1] D. J. Huntley, D. I. Godfrey-Smith, and M. L. W. Thewalt, 1985, Optical dating of sediments, *Nature*, n°313, p. 105-107.
- [2] G. A. T. Duller, 1994, Luminescence dating of sediments using single aliquots: new procedures, *Quaternary Geochronology (Quaternary Science Reviews)*, v. 13, p.149-156.
- [3] E. Vartanian, 1999, Datation des archéomatériaux par luminescence stimulée thermiquement et optiquement : TL et OSL de silicates ou de carbonates, *Thèse de doctorat en Physique des Archéomatériaux*, Université Bordeaux 3.
- [4] M. Fattahi , R. Walker, J. Hollingsworth, A. Bahroudi, H. Nazari, M. Talebian, S. Armitage, S. Stokes, 2006, Holocene slip-rate on the Sabzevar thrust fault, NE Iran, determined using optically stimulated luminescence (OSL), *Earth and Planetary Science Letters*, v. 245, p. 673–684.
- [5] Wintle A.G., 2008, Fifty years of luminescence dating, *Archaeometry*, 50: 276-312.
- [6] K. E. Fitzsimmons, E. J. Rhodes, T. T. Barrows, 2010, OSL dating of southeast Australian quartz: A preliminary assessment of luminescence characteristics and behaviour, *Quaternary Geochronology*, v. 5, p. 91–95.
- [7] Wang XL, Wintle A.G, Du JH, Kang S.G, Lu Y.C., 2011, Recovering laboratory doses using fine-grained quartz from Chinese loess, *Radiation Measurements* 46: 1073-1081.
- [8] A. S. Murray and A. G. Wintle, 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurement*, n°32, p. 57-73.
- [9] D. Banerjee, A.S. Murray, L. Bøtter-Jensen, and A. Lang, 2001, Equivalent dose estimation using a single aliquot of polymineral fine grains, *Radiation Measurements*, n°33, p. 73-94.
- [10] A.G. Wintle and A.S. Murray, 2006, A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, n°41, p. 369-391.
- [11] Wang, X.L., Wintle, A.G. 2012, Optically stimulated luminescence production in the single-aliquot regenerative dose protocol, *Radiation Measurements* 47: 121-129.
- [12] G. Adamiec and M.J. Aitken, 1998, Dose-rate conversion factors: update, *Ancient TL*, vol. 16, n°2, p. 37-50.
- [13] J. R. Prescott and J. T. Hutton, 1994, Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long term time variations. *Radiation Measurements*, n°23, p. 497-500.
- [14] E. J. Rhodes, L. Pownall, 1994, Zeroing of the OSL signal in quartz from young glaciofluvial sediments, *Radiation Measurements*, Volume 23, Issues 2–3, p. 581–585.
- [15] J.S. Singarayer, R.M. Bailey, S. Ward, S. Stokes, 2005, Assessing the completeness of optical resetting of quartz OSL in the natural environment, *Radiation Measurements*, Volume 40, Issue 1, p. 13–25.

