



## **Les remplissages paléontologiques de l'aven : description, définition des ensembles et cadre chronologique**

Myriam Boudadi-Maligne, Jean-Baptiste Mallye, Jean-Christophe Castel, Olivier Bignon-Lau, François Lacrampe-Cuyaubère, Véronique Laroulandie, Mathieu Luret, Xavier Muth

### **► To cite this version:**

Myriam Boudadi-Maligne, Jean-Baptiste Mallye, Jean-Christophe Castel, Olivier Bignon-Lau, François Lacrampe-Cuyaubère, et al.. Les remplissages paléontologiques de l'aven : description, définition des ensembles et cadre chronologique. Castel Jean-Christophe & Boudadi-Maligne Myriam. L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur, Revue de Paléobiologie (43(2)), Muséum de Genève, pp.61-85, 2024, 0253-6730. <10.5281/zenodo.13860388>. <hal-04775114>

**HAL Id: hal-04775114**

**<https://hal.science/hal-04775114v1>**

Submitted on 9 Nov 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

REVUE DE

43(2) – 2024

# PALÉOBIOLOGIE



**L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot):  
histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur**

Sous la direction de J.-C. Castel & M. Boudadi-Maligne

**Une institution  
Ville de Genève**

[www.museum-geneve.ch](http://www.museum-geneve.ch)





Préface.....	1-2
Préambule .....	3-4
Remerciements.....	5-8
Castel J.-C., Camus H. & Muth X. - L'Igue du Gral et son contexte .....	9-23
Castel J.-C., Boudadi-Maligne M. & Mallye J.-B. - Historique et méthodologie des recherches....	25-42
Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. - Eléments de contexte, taphonomie et informations contextualisant l'analyse des corpus osseux de l'Igue du Gral.....	43-59
Boudadi-Maligne M., Mallye J.-B., Castel J.-C. avec la collaboration de F. Lacrampe-Cuyaubère F., Muth X. & Luret M. - Les remplissages paléontologiques de l'aven : description, définition des ensembles et cadre chronologique .....	61-85
Sitzia L. - Etude préliminaire du remplissage sédimentaire de l'Igue du Gral et implications pour l'accumulation des restes fauniques .....	87-105
Camus H. - Caractérisation morphokarstique de l'Igue du Gral .....	107-149
Brugal J.-P. - Les grands bovidés de l'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot, France) et les bisons de la fin du Pléistocène.....	151-191
Bignon-Lau O. - Spécificités et évolution des chevaux de l'Igue du Gral : analyses morphométriques et inférences comportementales .....	193-204
Castel J.-C. & Coumont M.-P. - Le cheval de l'Igue du Gral. 2023. Compléments d'analyses .....	205-214
Castel J.-C. Le cerf de l'Igue du Gral .....	215-233
Castel J.-C. & Kuntz D. - Le renne de l'Igue du Gral .....	235-300
Castel J.-C. - Les herbivores rares de l'Igue du Gral : du chamois au mammoth.....	301-315
Boudadi-Maligne M. - Les grands carnivores (à l'exception du loup) de l'Igue du Gral .....	317-327
Boudadi-Maligne M. & Castel J.-C. - Les loups ( <i>Canis lupus</i> ) de l'Igue du Gral : bilan de l'analyse taphonomique et paléontologique .....	329-352
Mallye J.-B. & Pelletier M. - Les léporidés et les petits carnivores de l'Igue du Gral .....	353-415
Laroulandie V. - Taphonomie des restes aviaires de l'Igue du Gral (Lot). Considérations méthodologiques et paléoenvironnementales.....	417-436
Jeannet M. - La microfaune de l'Igue du Gral.....	437-449
Studer J. - Les poissons de l'Igue du Gral .....	451-456
Chaix L. & Castel J.-C. - La malacofaune de l'Igue du Gral .....	457-464
Couture C., Escola M., Desrue A. & Castel J.-C. - Etude anthropologique des vestiges humains protohistoriques de l'Igue du Gral et des pièges naturels de Monclar (Sauliac-sur-Célé).....	465-474
Ducasse S., Renard C., Constans G., Villeneuve Q. & Mourre V. - Des chasseurs en embuscade ? Les témoins de la présence humaine autour de l'Igue du Gral : caractérisation des vestiges lithiques « piégés » par l'aven et hypothèses d'introduction .....	475-488
Castel J.-C. - Archéozoologie du renne en aven : comparaison des profils squelettiques entre accumulation naturelle et sites archéologiques .....	489-507
Rendu W., Pubert E., Boudadi-Maligne M. & Castel J.-C. - Saisonnalité d'accumulation des carcasses dans l'Igue du Gral : résultats cémento-chronologiques .....	509-516
Gauthier J., Bachmann Salvy M., Orlando L. & Alvarez N. - Paléogénomique de l'Igue du Gral, ou comment les populations de mégafaune ont traversé la dernière grande Glaciation .....	517-520
Boudadi-Maligne J., Castel J.-C., Ducasse S. & Mallye J.-B. avec la contribution de Bignon-Lau O., Brugal J.-P., Laroulandie V. & Pelletier M. - Synthèse paléoenvironnementale et biochronologique de l'Igue du Gral (Lot). Entre nature et culture... ..	521-534



## Les remplissages paléontologiques de l'aven : description, définition des ensembles et cadre chronologique

Myriam BOUDADI-MALIGNE<sup>1</sup>, Jean-Baptiste MALLYE<sup>1</sup> & Jean-Christophe CASTEL<sup>2</sup>  
avec la collaboration de Olivier BIGNON-LAU<sup>3</sup>, François LACRAMPE-CUYAUBÈRE<sup>4</sup>,  
Véronique LAROULANDIE<sup>1</sup>, Mathieu LURET<sup>5</sup> & Xavier MUTH<sup>6</sup>

<sup>1</sup> CNRS, PACEA – UMR5199, Allée G. St Hilaire B2, CS 50023, F-33615 Pessac Cedex, France ;  
myriam.boudadi-maligne@u-bordeaux.fr ; jean-baptiste.mallye@u-bordeaux.fr ;  
veronique.laroulandie@u-bordeaux.fr

<sup>2</sup> Laboratoire d'Archéozoologie, Muséum d'histoire naturelle, C.P. 6434, CH-1211 Genève 6, Suisse ;  
jean-christophe.castel@geneve.ch

<sup>3</sup> CNRS, TEMPS - UMR 8068 « Technologie et Ethnologie des Mondes Préhistoriques », MSH Mondes - Bât. René  
Ginouès, 21 allée de l'Université, F-92023 Nanterre Cedex, France ; olivier.bignon-lau@cnrs.fr

<sup>4</sup> Archéosphère, Rue de la Rhode 10, F-11500 Quillan, France ; f.lacrampe@archeosphere.com

<sup>5</sup> Archéologue auto-entrepreneur, Route de France 67, CH-1348 Le Brassus, Suisse ; matluret@msn.com

<sup>6</sup> Get in Situ, Place R. T. Bosshard 1, CH-1097 Riex, Suisse ; x.muth@getinsitu.com

### Résumé

Parmi les nombreux avens du Quercy qui livrent de la faune pléistocène, l'Igue du Gral s'est rapidement distinguée du fait de la présence d'une succession de niveaux quasiment horizontaux riches en restes de vertébrés. Toutefois, certaines particularités de ce contexte souterrain et du mode de mise en place des dépôts (sédimentation en contexte karstique profond, présence de gros blocs, absence de « fossiles directeurs », etc.) ont rendu l'identification d'ensembles biostratigraphiques difficile lors de la progression des fouilles. Il a été nécessaire de mettre en place une stratégie post-fouille adaptée pour identifier des ensembles chrono- et biostratigraphiques cohérents à partir desquels les analyses paléontologiques et taphonomiques pouvaient ensuite être réalisées. Pour cela, nous avons donc fait le choix de croiser différents types de données et d'analyses, telles que la répartition des vestiges par nappes, la répartition des espèces et des raccords effectués sur le matériel fossile, la réalisation de datations C14 et l'analyse de leur distribution.

### Mots-clés

Biostratigraphie, répartition spatiale, stratigraphie post-fouille, datations radiocarbone, raccords.

### Abstract

**Paleontological deposits in the pitfall : description, levels definition and chronological framework.** - Among the numerous pitfalls yielding Pleistocene fauna in the Quercy region, the Igue du Gral quickly stood out for the presence of a succession of almost horizontal levels rich in vertebrate remains. However, some particular features of this context and the way the deposits were laid down (sedimentation in a deep karstic context, presence of large boulders, absence of "director fossils", etc.) made it difficult to identify biostratigraphic layers as excavations progressed. It was therefore necessary to develop an appropriate post-excavation strategy to identify coherent chrono- and biostratigraphic assemblages from which paleontological and taphonomic analyses could then be performed. To achieve this, we chose to combine different types of data and analyses, such as the distribution of remains by layer, the distribution of species and fittings C14 datings and the analysis of their distribution.

### Keywords

Biostratigraphy, spatial distribution, post-excavation stratigraphy, radiocarbon datings, fittings.

## 1. CONTEXTE DE TRAVAIL

Les trois triennales de fouilles se sont déroulées dans un contexte de découverte progressive de la séquence stratigraphique et de son contenu. La fouille de l'aven a bénéficié, rappelons-le, de méthodes d'enregistrement des vestiges dans les trois dimensions de l'espace comparables à celles qui sont utilisées dans le cadre de fouilles de sites archéologiques (Castel *et al.*, 2024). Grâce à cela, une longue phase d'analyse a été entreprise après le travail de terrain pour définir et caractériser des ensembles biostratigraphiques les plus cohérents possibles d'un point de vue de leur contenu faunistique et de leur attribution chronologique. Cette démarche indispensable dans ce type de contexte est donc explicitée dans ce chapitre dédié.

### 1.1. Zones de fouilles

Au début des fouilles, l'igüe est pratiquement remplie jusqu'à son sommet et l'évacuation des sédiments du conduit vertical permet de déboucher sur une petite salle à la surface de laquelle les spéléologues collectent de nombreux ossements. Les sédiments évacués à l'extérieur de l'aven contenaient quelques vestiges datant de l'Holocène, mais aussi de nombreux vestiges du Pléistocène. La fouille a concerné deux zones qui ont été nommées

secteur Avant et secteur Arrière (voir Castel *et al.*, 2024) dans lesquels il a été possible de travailler de manière synchrone. La progression en profondeur a été dictée tant par la richesse en matériel fossile ou l'accessibilité des espaces fouillés que par le respect des normes de sécurité (par ex. la hauteur des coupes). Au niveau du secteur Avant, plusieurs carrés (P46-P47-Q46-Q47) ont été excavés sur plus de 2 m de hauteur. Les carrés les plus au nord (R46 et R47) atteignent la partie la plus basse de la fouille et ne documentent pas la partie supérieure (talus nord). Dans le secteur Arrière, la fouille la plus profonde (carré O49) n'a atteint qu'un mètre de profondeur, cette zone étant riche et dense en éléments de grande taille fortement imbriqués.

A l'issue des neuf années de fouille, plus de 15 000 pièces ont été coordonnées dans les trois dimensions de l'espace (Fig. 1). Le tamisage des sédiments a enrichi ce bilan de plus de 10 000 éléments identifiables qui correspondent à 41 % du matériel d'intérêt global. Le secteur Avant est riche de 8524 éléments coordonnés et 7360 éléments identifiés dans les refus de tamis. Le secteur Arrière a quant à lui livré 7015 éléments coordonnés et 3598 restes d'intérêt dans les refus de tamis.

### 1.2. Découpage stratigraphique de terrain

Plusieurs facteurs inhérents au contexte du Gral (contexte karstique profond, difficulté d'éclairage, fouille par mètre carré) ont rendu complexe l'identification d'ensembles stratigraphiques cohérents au fur et à mesure de la progression des fouilles. Par ailleurs, la présence de gros blocs dans certaines zones, de niveaux de résidualisation (*ie.* amas d'os déposés avec un minimum de sédiments) et l'identification d'éléments nouveaux (schistes, nouvelles espèces, éléments remaniés...) ont conduit à faire constamment évoluer les limites des ensembles sédimentaires (voir Camus, 2008 vs 2011). De plus, il est vraisemblable que les vitesses de sédimentation aient largement fluctué en fonction des dynamiques d'ouverture et colmatage des cheminées ou de la dynamique externe (Camus, 2024). Ce découpage sédimentaire ne pouvait pas être utilisé pour l'analyse de l'évolution des paléofaunes qui nécessitait un découpage propre, biostratigraphique (Texier, 2000 ; Delpech, 2005).

A la différence des sites archéologiques dans lesquels les «fossiles directeurs» ou marqueurs technologiques peuvent servir à mettre en place une archéo-stratigraphie de manière à étudier des ensembles de vestiges résultant d'une même histoire, la nature du gisement de l'Igüe du Gral demandait la mise en place d'une stratégie adaptée et inédite pour identifier des ensembles biostratigraphiques cohérents.

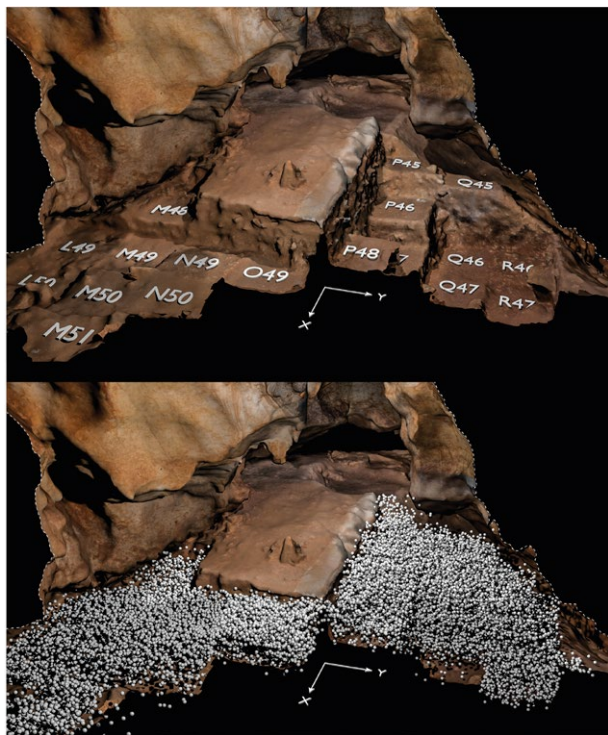


Fig. 1 : Visualisation du carroyage adopté et répartition spatiale des vestiges coordonnés dans l'Igüe du Gral (PAO-DAO GetInSitu).

### 1.3. Présence de zones « remaniées »

La présence et la délimitation de zones perturbées par divers types de phénomènes (soutirage, érosion, basculement de blocs sédimentaires, activités d'agents bioturbateurs...) était une étape liminaire indispensable avant d'établir une biostratigraphie.

Dans le secteur Arrière, la fouille des carrés LM49-50, bien que renfermant un matériel paléontologique riche et plutôt bien conservé, a rapidement mis en évidence l'association d'éléments dits modernes (sanglier, chevreuil, blaireau...) avec des restes indubitablement pléistocènes (notamment du renne). Un travail spécifique a été mené dans le cadre d'un master (Robert, 2010) afin de déterminer le degré de perturbation de cette zone. A la suite de ces travaux, la poursuite de la fouille et l'analyse géoarchéologique (Sitzia, 2024) ont permis d'identifier la base d'une zone remaniée, mais dont l'extension vers l'est reste difficile à cerner (Sitzia, 2024). Pour cette raison, le matériel exhumé des carrés L49, M49 et des bandes 50 à 52 a été écarté de la création des ensembles paléontologiques.

Forts de ce constat, nous avons focalisé notre attention sur les zones plus prometteuses, car apparemment moins perturbées. Nous avons travaillé sur la répartition dans les trois dimensions de l'espace, des nappes de vestiges, tout en tenant compte autant que possible des attributions spécifiques, des raccords effectués sur le matériel et des résultats des datations radiocarbone.

## 2. VESTIGES ET CHRONOLOGIE

### 2.1. Spectre faunique et vestiges particuliers

A l'Igue du Gral, le spectre faunique est à la fois riche et extrêmement diversifié. Si l'on excepte la malacofaune (Chaix & Castel, 2024) et les microvertébrés (Jeannet, 2024) ayant fait l'objet d'études spécifiques, on décompte dans l'aven pas moins de 33 espèces de vertébrés (Tab. 1).

Il s'agit majoritairement, considérant le nombre de restes (NR), de renne, lièvre, cheval, chocard, bison, loup, lapin, cerf et renard. D'autres taxons, dont la présence est plus discrète, viennent compléter ce tableau avec des carnivores et des ongulés de taille variée, des oiseaux, ainsi que des taxons plus emblématiques du Pléistocène tels que le mammoth, le rhinocéros, l'antilope saïga ou les lagopèdes. La présence d'oiseaux, parfois de grande taille, est à noter. Enfin, la découverte de pièces lithiques et de roches exogènes (schistes) est également remarquable.

### 2.2. Cadre chronologique

Lors de la fouille de l'Igue du Gral, de nombreuses datations au radiocarbone ont été réalisées sur la faune afin d'établir un cadre chronologique précis. Les résultats obtenus ont permis de guider la poursuite des fouilles et de tester nos premières observations (bio)stratigraphiques. *In fine*, ces dates nous ont permis de tester la contemporanéité de taxons dont l'association et la succession ne sont pas *a priori* celles attendues dans les cadres biochronologiques précédemment établis à l'échelle de l'Aquitaine (cf. biozonations in Delpech, 1993 et Delpech *et al.*, 2000).

#### 2.2.1. Stratégie d'échantillonnage

Dès le début des opérations de terrain et chaque année ensuite, des échantillons ont été sélectionnés et envoyés en datation (voir Castel, 2003 ; Castel & Oberlin, 2005 ; Castel, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 ; Castel *et al.*, 2008 ; Boudadi-Maligne *et al.*, 2014, 2015, 2016). La stratégie d'échantillonnage et la quantité de restes datés ont cependant fluctué au fur et à mesure des années du fait de l'évolution des méthodes de datation par le radiocarbone, de nos problématiques de terrain et des financements obtenus (Tab. 2 et 3). Notre stratégie s'est rapidement orientée vers une datation des principaux taxons sur toute la séquence stratigraphique (cas du renne, du bison et du cheval). Elle a également ciblé les taxons rares et/ou se rapportant à un ou deux individus pouvant sembler isolés et correspondre à un événement relativement court par rapport à l'histoire globale du remplissage dans l'aven (saïga, mégacéros, ours, glouton, hyène, loup, bouquetin, chamois).

#### 2.2.2. Méthodes et laboratoires de datations

Si toutes les datations réalisées sur les restes de l'Igue du Gral sont des datations radiocarbone, plusieurs méthodes ont été utilisées :

- Les trois premières dates (Tabl. 2), réalisées entre 2003 et 2005, ont été obtenues par la méthode classique nécessitant des lots de près de 1 kg d'os (Castel & Oberlin, 2005).
- Les 50 autres dates ont été réalisées en utilisant un Accélérateur à Spectromètre de Masse (AMS), cependant, les méthodes de préparation des échantillons et le choix des échantillons étalons peuvent varier selon les laboratoires, ce qui interroge sur la comparabilité des dates provenant de ces différents laboratoires, les séries de dates obtenues par les différents laboratoires pouvant être décalées de quelques dizaines d'années (e.g. Scott *et al.*, 2010 ; Ducasse *et al.*, 2014).
- Pour les 37 dates réalisées *via* la plateforme de Lyon, le prétraitement des échantillons (*ie.* extrac-



Tableau 1 : Spectre faunique et éléments remarquables de l'Igüe du Gral (reprenant les décomptes des différents contributeurs).

Nom commun	Nom scientifique	NR étudié	Fouille 2001-2011	Collecte de surface
Renne	<i>Rangifer tarandus</i>	5972	5972	174
Lièvre	<i>Lepus timidus/europeus</i>	3425	3421	4
Chocard	<i>Pyrrhocorax graculus</i>	2689	2949	0
Cheval	<i>Equus caballus</i>	2318	2318	215
Bison	<i>Bison priscus</i>	1584	1521	159
Loup	<i>Canis lupus</i>	878	884	22
Lapin	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	532	532	1
Cerf	<i>Cervus elaphus</i>	440	440	46
Renard commun et polaire	<i>Vulpes vulpes/alopex</i>	379	385	3
Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	148	148	2
Blaireau	<i>Meles meles</i>	120	122	2
Hermine/Belette	<i>Mustela erminea/nivalis</i>	90	90	1
Chamois	<i>Rupicapra rupicapra</i>	78	78	2
Glouton	<i>Gulo gulo</i>	60	60	0
Putois	<i>Mustela (Putorius) sp.</i>	41	41	0
Bouquetin	<i>Capra ibex</i>	38	38	3
Ours brun	<i>Ursus arctos</i>	35	35	0
Caprinés	<i>Capra hircus/Ovis aries</i>	25	25	0
Lagopède	<i>Lagopus sp.</i>	21	21	0
Homme	<i>Homo sapiens</i>	18	18	0
Chevreuril	<i>Capreolus capreolus</i>	18	18	0
Saïga	<i>Saiga tatarica</i>	15	15	0
Mammouth	<i>Mammuthus sp.</i>	11	11	3
Hyène des cavernes	<i>Crocuta crocuta spelaea</i>	7	6	1
Grand-Duc	<i>Bubo bubo</i>	6	6	0
Grand Corbeau	<i>Corvus corax</i>	5	3+2?	0
Hydrontin	<i>Equus hydruntinus</i>	0	6?	0
Hibou de taille moyenne	<i>Asio sp.</i>	1	3	0
Rhinocéros	<i>Coelodonta antiquitatis</i>	3	3	0
Mégacéros	<i>Megaloceros megaloceros</i>	1	0	1
Ombre commun	<i>Thymallus thymallus</i>	1	1	0
Chien	<i>Canis familiaris</i>	0	0	24
NR étudié total		18959		
Vestiges identifiés par classe de taille ou par famille			6817	358
Gastéropodes		2273	6	
Microfaune		1412	155	
Charbons			8	
Roches (dont schistes ; sauf quartz et quartzite)			138	
Quartz/quartzite		25	25	
Silex		27	27	
<b>Total</b>		<b>22696</b>	<b>26337</b>	<b>1020</b>

tion du collagène et nettoyage de l'échantillon) peut être considéré comme homogène (Castel & Oberlin, 2005 ; Longin, 1971), mais trois accélérateurs ont été utilisés par ce laboratoire. Ainsi, 6 résultats ont été obtenus *via* l'accélérateur d'Oxford, 2 par celui de Poznan et 29 par celui de Saclay.

- Par ailleurs, 3 dates ont été réalisées par le laboratoire d'Oxford, 1 par celui de Poznan et 12 *via* Beta-Analytic (Tabl. 2 et 3).

Ces dates obtenues par le carbone 14 ont été calibrées à l'aide du logiciel OxCal (v4.4.4 © Bronk Ramsey 2021) utilisant la courbe de calibration IntCal20 (Reimer *et al.*, 2020).

### 2.2.3. Résultats des datations radiocarbone

Nous bénéficions d'un cadre chronologique riche de 53 dates C<sup>14</sup> (Tab. 2 et 3) dont 48 sont acceptées comme fiables et utilisables. Bien que listées dans les tableaux de résultats, les 5 autres dates doivent être considérées avec précaution :

- Comme mentionné précédemment, les trois premières dates (*dates 1 à 3*) réalisées sur la faune de l'Igue du Gral ont été effectuées *via* la méthode classique grâce à plusieurs ossements pris comme un lot et pour lesquels l'espèce n'est pas toujours déterminée avec certitude. Bien que ces trois dates ne diffèrent pas radicalement de celles obtenues par la suite sur d'autres éléments se référant vraisemblablement

Tableau 2 : Liste des dates C<sup>14</sup> réalisées à l'Igue du Gral pendant les opérations de terrain (entre 2003 et 2011) en fonction des années de réception des résultats et précisant la problématique de datation de chacun des vestiges.

n°	Espèces	Réf. Labo	Problématique de datation	Méthode	Dates BP	±	Année résultat
1	Grands ongulés	Ly-11518	dater le sommet de l'ensemble à renne+cheval+bison	classique	13680	55	2003
2	Renne	Ly-12419	dater l'ensemble à renne+cheval+bison	classique	13360	70	2005
3	Cheval	Ly-12418	dater le fond de la salle à une prof. équivalente à l'ensemble renne+cheval+bison de l'avant de l'aven	classique	13970	90	
4	Renne	Ly-16388	dater base de la séquence fouillée en 2003	AMS	14460	130	
5	Cerf	Ly-16389	dater la couche sommitale à cerf	AMS	10650	50	
6	Lièvre	Ly-16390	dater la couche à lagomorphes	AMS	10520	55	
7	Saïga	Lyon-3086 (Poz)	dater l'antilope saïga	AMS	15350	120	2006
8	Cheval	Lyon-3087 (Poz)	dater la coupe naturelle dans le point accessible le plus bas	AMS	26320	410	
9	Loup	Lyon-3631 (SacA)	dater la présence des loups dans l'aven	AMS	16260	70	2007
10	Bison	Lyon-4437 (SacA-8620)	tester la contemporanéité dans l'ensemble sommital entre le cerf et le bison	AMS	10440	50	2009
11	Renne	Lyon-4438 (SacA-8621)	confirmer la datation de l'ensemble à renne suite à l'obtention d'une date plus ancienne pour le saïga	AMS	16120	90	
12	Cheval	Lyon-4439 (SacA-8622)	dater le nouvel ensemble apparaissant sous un ensemble peu riche et mal conservé	AMS	17680	110	
13	Renne	Lyon-5609 (SacA-12685)	dater la base de la séquence fouillée en 2007	AMS	17520	130	
14	Renne	Lyon-5608 (SacA-12684)	confirmer la datation de l'ensemble à renne suite à l'obtention d'une date plus ancienne pour le saïga	AMS	17990	130	
15	Bison	Lyon-5607 (SacA-12683)	dater la base de la séquence fouillée en 2007	AMS	28530	460	
16	Hyène	OxA-20763	dater une éventuelle perdurance de l'hyène en Quercy ?	AMS	31990	240	
17	Mégacéros	OxA-21062	dater le (seul reste de) mégacéros bien qu'il ait été découvert hors stratigraphie	AMS	42400	700	

n°	Espèces	Réf. Labo	Problématique de datation	Méthode	Dates BP	±	Année résultat
18	Ours	OxA-21062	dater l'ours brun dont le crâne complet a été découvert	AMS	19390	100	2010
19	Loup	Lyon-6451 (Sac-A-17871)	dater le loup dans le secteur Avant de l'aven	AMS	15840	100	
20	Bison	Lyon-6452 (Sac-A-17872)	dater du bison sous les dates à 28,5 et 31,9 ka BP pour déterminer si rupture dans la continuité du remplissage ou si présence d'éléments intrusifs dans la stratigraphie	AMS	19290	150	
21	Cerf	Lyon-7393 (SacA 21492)	dater le cerf profond	AMS	16430	100	2011
22	Renne	Lyon-7392 (SacA 21491)	dater du renne provenant apparemment du même horizon que le bison et l'hyène datés à 28,5 et 31 ka BP	AMS	20290	160	
23	Bison	Beta-288737	dater un amas de côtes de bison en position profonde	AMS	26700	190	
24	Cheval	Beta-288736	dater un amas de côtes de cheval	AMS	20040	90	
29	Cheval	Lyon-9073 (Sac-28340)	dater la base de la séquence atteinte en 2011 dans le secteur Avant	AMS	29520	370	
32	Renne	Beta-366708	dater le renne à la base de la séquence atteinte en 2011 dans le secteur Avant	AMS	30640	200	
33	Cheval	Beta-366707	dater la base de la séquence atteinte en 2011 dans le secteur Avant	AMS	30880	190	
35	Sanglier	Beta-366705	dater la couche à gastéropodes	AMS	13040	50	
44	Bison	Beta 397431	re-dater l'ensemble sommital suite à l'obtention d'une date « ancienne » à 13 ka BP sur du sanglier	AMS	10180	40	

au même niveau paléontologique, la comparabilité de ces dates avec les dates C<sup>14</sup> AMS a été questionnée dans plusieurs publications (*e.g.* d'Errico *et al.*, 2006; Ducasse *et al.*, 2014). Aussi, comme suggéré par Ducasse et collaborateurs (2014), il nous semble important de considérer ces dates à part pour nos interprétations concernant l'âge des dépôts du Gral. Elles ont été utiles à l'origine du projet, mais peuvent légitimement être considérées comme dépassées.

- La *date 6*, effectuée sur un lot d'ossements de léporidés (lièvre et lapin confondus) à partir d'échantillons transmis en 2003, demande également à être considérée avec prudence (Mallye & Pelletier, 2024). Ne connaissant pas l'effet d'un point de vue physico-chimique, du mélange d'échantillons d'âges différents, il apparaît délicat de traiter le résultat obtenu au même titre que les datations réalisées sur un unique os et donc un unique individu.
- La *date 39* montre un pourcentage en azote et un rapport 13C/12C légèrement en deçà des seuils limites de fiabilité (Oberlin, com. pers 2015). En outre, la date obtenue, 25410 ± 220 BP, apparaît peu cohérente avec les autres dates de la base de la fouille du secteur avant. Elle aurait pu être interprétée comme un indicateur d'un manque d'homogénéité dans l'ensemble basal, mais les rapports physico-chimiques

nous poussent ici à la considérer comme peu fiable et à l'écarter de nos interprétations.

Enfin, un dernier lot de dates doit être considéré un peu à part : il s'agit des datations effectuées sur des ossements trouvés hors stratigraphie. Si la fiabilité de ces dates ne pose pas de problème, elles apparaissent comme difficilement utilisables pour notre analyse de la mise en place des ensembles. Elles permettent cependant de répondre à des questions précises :

- *date 43*, sur reste humain : elle permet de dater l'utilisation de la cavité comme grotte sépulcrale lors du (dernier) colmatage de la cheminée actuelle d'accès (voir Couture *et al.*, 2024) ;
- *date 26*, sur reste de loup dans le diverticule : initialement réalisée pour tenter de dater les dépôts de cette partie de la grotte, elle apporte un argument complémentaire à l'étude biométrique et démontre la contemporanéité (relative) des loups de la salle principale avec ceux du diverticule (voir Boudadi-Maligne & Castel, 2024) ;
- *date 41*, datation d'un os inclus dans le plancher stalagmitique suspendu au-dessus des formations sédimentaires fouillées dans le secteur Avant afin d'évaluer la date du tassement ou de la remobilisation des sédiments de la salle principale ;
- *date 8*, réalisée dans la partie la plus basse des rem-

Tableau 3 : Liste des dates C<sup>14</sup> réalisées à l'Igüe du Gral après les opérations de terrain, dans le cadre de l'Aide à la Préparation de Publication et dans le cadre de projets / financements parallèles (entre 2014 et 2016) en fonction des années de réception des résultats et en précisant la problématique de datation de chacun des vestiges. La date 39 apparaît en grisé, car les rapports physico-chimiques obtenus sur l'échantillon indiquent une faible fiabilité du résultat.

n°	Espèces	Réf. Labo	Problématique de datation	Méthode	Dates BP	±	Année résultat
25	Chocard	Lyon-9069 (SacA-28336)	dater le chocard lorsqu'il devient plus abondant	AMS	17600	100	2014
26	Loup	Lyon-9070 (SacA-28337)	dater le diverticule et vérifier la contemporanéité des loups de ce secteur avec ceux retrouvés dans le reste de l'aven	AMS	15850	80	
27	Renne	Lyon-9071 (SacA-28338)	dater la base de la séquence du secteur Arrière atteinte en 2011	AMS	19490	120	
28	Renne	Lyon-9072 (SacA-28339)	dater un os provenant du niveau rouge intercalé	AMS	28800	340	
45	Renne	Beta-397430	dater le niveau juste au-dessus du niveau rouge intercalé dans la séquence	AMS	17970	60	
47	Sanglier	Beta 397432	dater la faune tempérée découverte au-dessus des ensembles paléontologiques	AMS	3660	30	
30	Lapin	Lyon-11697 (SacA39168)	date ARTEMIS JBM : dater le lapin de la couche sommitale	AMS	11110	70	2015
31	Lapin	Lyon-11698 (SacA39169)	date ARTEMIS JBM : dater le lapin de la couche sommitale	AMS	11610	90	
34	Bison	Beta-366706	dater la base de la séquence atteinte en 2011 dans le secteur Avant	AMS	29180	180	
36	Cheval	Lyon-11433 (SacA38076)	dater l'ensemble 5	AMS	22570	160	
37	Bison	Lyon-11434 (SacA38077)	dater l'ensemble 5	AMS	22910	160	
38	Bouquetin	Lyon-11435 (SacA38078)	dater le bouquetin, espèce utilisée en isochrone	AMS	19530	120	
39	Chamois	Lyon-11436 (SacA38079)	dater le chamois espèce encore non datée	AMS	25410	220	
40	Bouquetin	Lyon-11437 (SacA38080)	vérifier la contemporanéité du bouquetin des secteurs Avant et Arrière et valider son utilisation en isochrone	AMS	19330	120	
41	Cheval	Lyon-12294 (SacA42812)	dater le plancher stalagmitique suspendu	AMS	12420	50	
42	Glouton	Lyon-12292 (SacA42810)	dater le glouton, espèce utilisée en isochrone	AMS	19810	120	
43	Homme	Lyon-12293 (SacA42811)	dater l'utilisation de la cavité comme lieu de sépulture et le colmatage de la cheminée principale	AMS	2545	30	
48	Bovidé	Poz-69596	reste daté par J-P Brugal dans le cadre d'une première étude génétique	AMS	10260	50	
49	Blaireau	Lyon-12848 (SacA 45103)	dater le blaireau en sommet de séquence	AMS	1250	30	2016
51	Renne	Lyon-12850 (SacA 45105)	dater un des rennes les plus récents	AMS	13170	70	
52	Bouquetin	Lyon-12849 (SacA 45104)	dater le bouquetin en base de séquence du secteur Avant	AMS	30200	440	
53	Cheval	Beta- 426806	dater une patte de bison en connexion anatomique	AMS	14760	50	
54	Cheval	Beta- 426807	dater l'ensemble 5	AMS	23610	100	
55	Lièvre brun	Beta - 426805	dater le lièvre du sommet	AMS	6340	30	

plissages accessibles, elle avait pour objectif d'estimer l'ancienneté des dépôts les plus profonds ; la date relativement récente obtenue indique l'occurrence de phénomènes de déstabilisations et de résédimentations plus complexes que ceux initialement suspectés ;

- *date 17* sur l'unique reste de mégacéros collecté lors de la désobstruction spéléologique : permet de documenter la présence de cette espèce dans la région et du fait de son ancienneté, cette date permet de poser l'hypothèse de la présence de dépôts fossilifères dans l'aven au-delà de 45 cal kBP.

### 3. IDENTIFICATION ET LIMITES DES ENSEMBLES BIOSTRATIGRAPHIQUES

#### 3.1. Outils et critères

Plusieurs stratégies ont été mises en œuvre puis couplées afin d'identifier des ensembles cohérents d'un point de vue biostratigraphique. Nous avons notamment choisi l'utilisation croisée de datations directes sur la faune et des méthodes développées en taphonomie (réalisation de raccords, observation des surfaces osseuses et spatialisation des données) afin d'aboutir à un découpage stratigraphique aussi précis que possible. Pour visualiser dans l'espace l'agencement des différents types de vestiges et de données, nous avons utilisé le logiciel Datadesk (version 6) selon les procédures précédemment décrites pour l'archéologie (Lacrampe-Cuyaubère, 1996, 1997). Les ensembles bio-chronostratigraphiques ont pu être mis en évidence et une nouvelle table d'attributs a ainsi été générée de manière à réattribuer chaque vestige à un ensemble. Pour certains, il n'a pas été possible d'opérer une réattribution fiable et les objets ont donc été laissés comme orphelins (notés NA dans la base de données). Les projections ont ensuite été traitées avec le logiciel Adobe Illustrator.

#### 3.2. Identification des nappes de vestiges par répartition altitudinale

Afin d'individualiser des ensembles, plusieurs projections ont été réalisées en travaillant par bandes d'un mètre. Cette étape permet de visualiser facilement les éventuelles concentrations altitudinales particulières qui peuvent ensuite être analysées du point de vue de leur contenu spécifique. Afin d'inclure les vestiges trouvés lors des opérations de tamisage, nous avons complété cette analyse en utilisant des histogrammes de fréquence de vestiges dans lesquels les pièces issues du tamisage sont ajoutées à celles qui ont été coordonnées. Cette analyse a pour but d'évaluer la concentration des vestiges fauniques dans le plan vertical.

##### 3.2.1. La projection sagittale du secteur Avant : exemple de la bande 47

Sur la bande 47 (carrés P47-Q47-RS47), les vestiges sont dispersés sur près de 2 m de profondeur. La projection des vestiges coordonnés fait apparaître plusieurs concentrations (Fig. 2) correspondant à au moins quatre nappes de vestiges. Elles présentent toutes un pendage modéré du sud au nord. La première entre 1 m et 1,25 m, est peu dense en surface et semble contenir plus de vestiges à sa base ; la deuxième se développe jusqu'à environ 1,75 m de profondeur. Elle apparaît nettement plus dense, mais cette densité diminue légèrement vers le nord. La troisième, entre 1,75 et 2 m, montre des morphologies et densités relativement comparables ; enfin entre 2 m et 2,5 m les vestiges sont plus épars, mais il semble y avoir une concentration un peu plus importante autour de 2,3 m en P47 et 2,5 m en R47. Au-delà, la projection des vestiges apparaît plus diffuse. Toutefois l'analyse de l'histogramme de fréquences associé montre qu'à 3 m, un pic s'individualise, signalant vraisemblablement une nouvelle nappe de vestiges.

##### 3.2.2. La projection frontale

La même analyse appliquée à la bande P étendue au carré O49 fait ressortir plusieurs spécificités du haut vers le bas sur plus de 4 m :

- Au sommet, une nappe de vestiges inclinée selon un pendage d'ouest en est apparaît assez dilatée en P45 et beaucoup plus concentrée (voir pincée) en O49 ;
- Un empilement de trois nappes montrant un pendage inverse (orientées d'est en ouest) qui correspondent à celles observées précédemment sur la projection sagittale à respectivement 1,5-1,75 m, 2 m et 2,3 m ; cette dernière n'ayant été atteinte qu'en P47

Ces différentes nappes de vestiges s'individualisent également à travers la lecture des histogramme de fréquences (Fig 3).

##### 3.2.3 La projection sagittale du secteur Arrière

Dans le secteur Arrière, les nappes de vestiges s'individualisent relativement mal. Dans les carrés N et O49, il est possible d'apercevoir une nappe sommitale très dense et une autre beaucoup moins concentrée qui présente, comme dans le secteur Avant, un pendage du sud au nord. A partir de L et M49, aucune distinction de nappes n'est possible, que ce soit sur la base des projections ou à travers la lecture des histogrammes de fréquences (Fig. 4). Les études géologiques et karstologiques (Sitzia, 2024 ; Camus, 2024) ont montré que le sommet du remplissage du secteur Arrière a fait l'objet de remaniements à l'extrême fin du Pléistocène. L'individualisation de nappes dans ce secteur est donc rendue impossible du fait de ces remaniements.

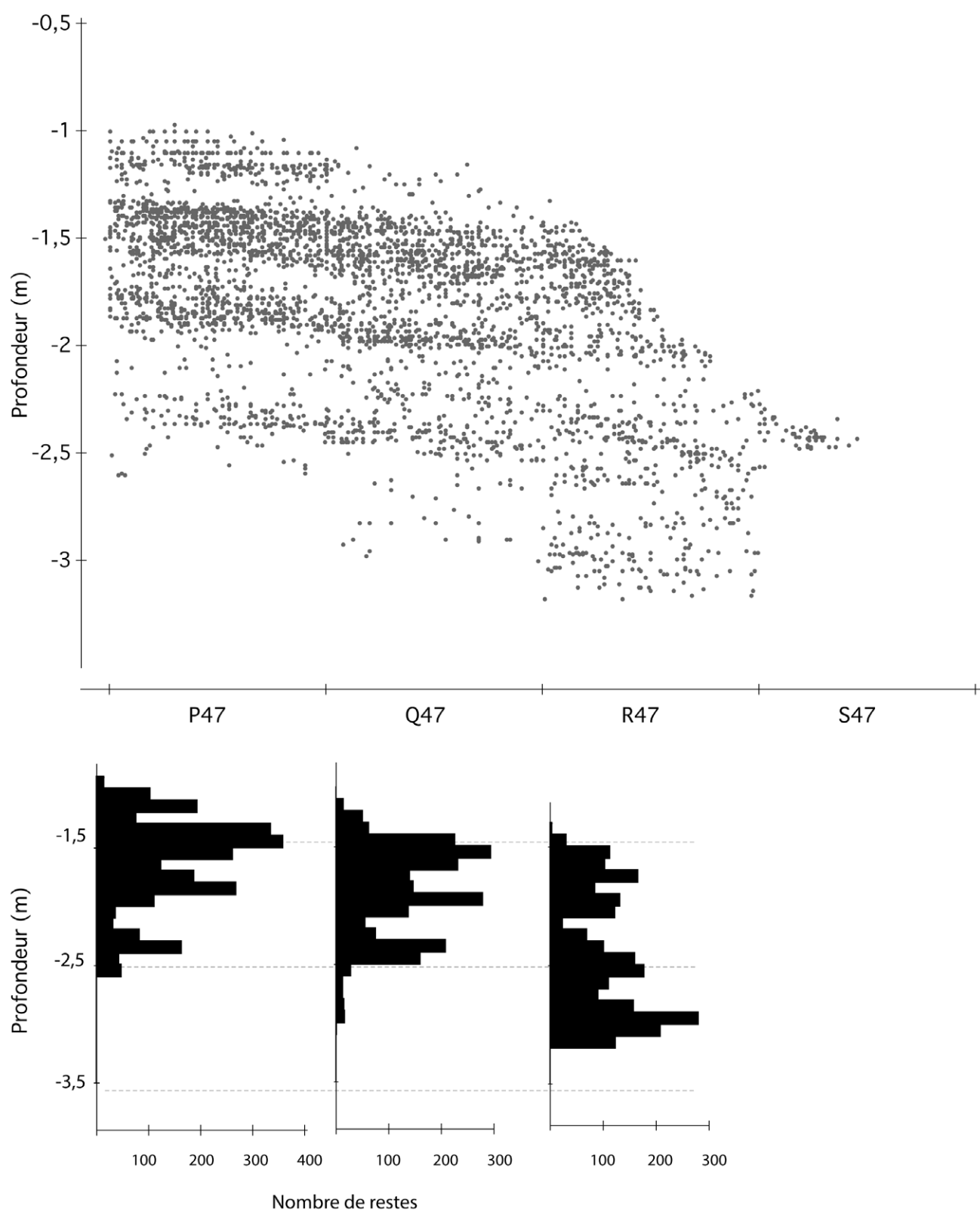


Fig. 2: Projection sagittale des vestiges enregistrés dans l'espace dans les 4 m² P47-Q47-R47-S47 et nombre de vestiges coordonnés et issus du tamisage en fonction des tranches altitudinales (PAO-DAO J.-B. Mallye).

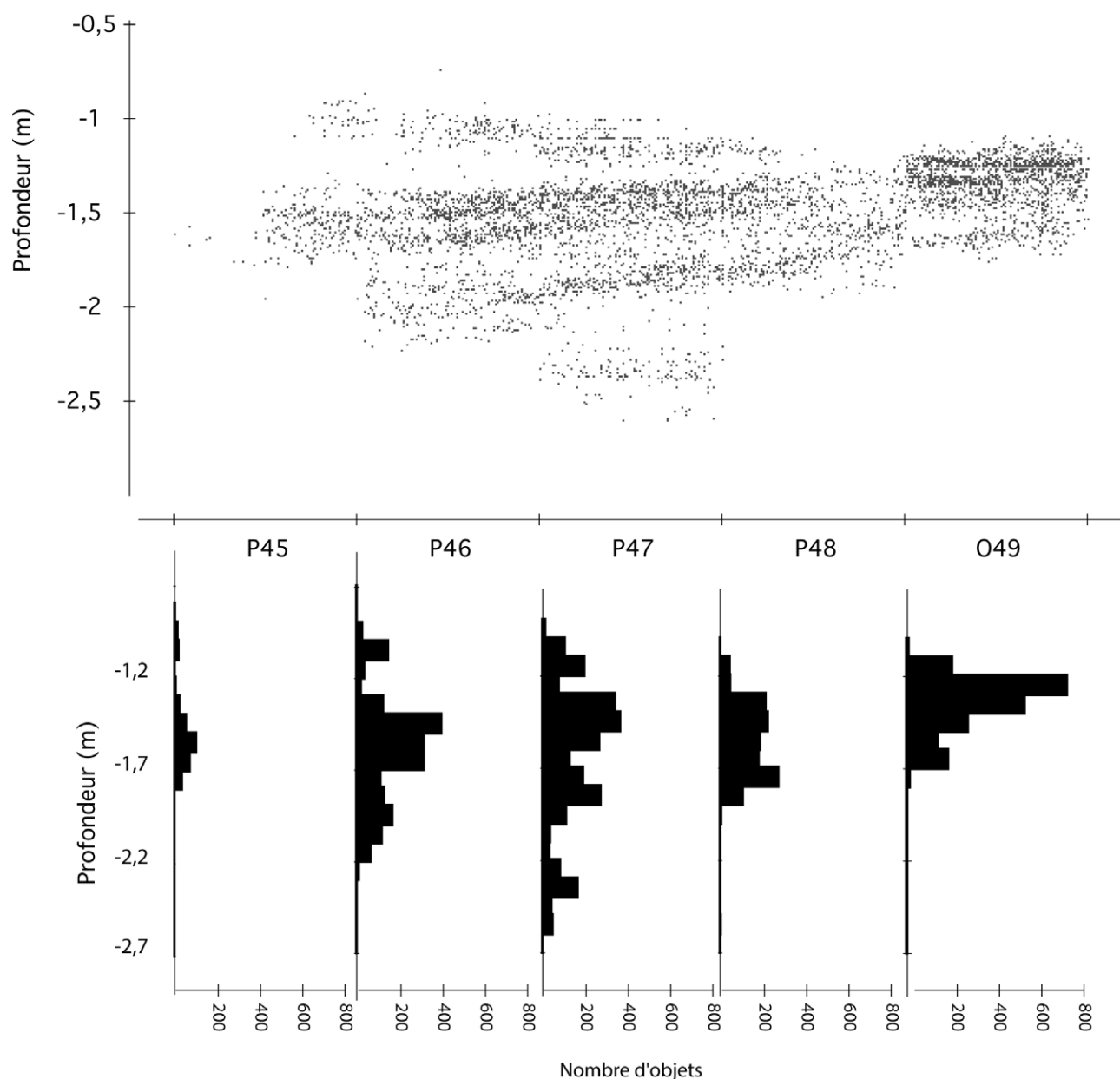


Fig. 3 : Projection frontale des vestiges coordonnés en P45-P46-P47-P48-O49 et nombre de vestiges coordonnés et issus du tamisage en fonction des tranches altitudinales (PAO-DAO J.-B Mallye).

### 3.3. Répartition des espèces

#### 3.3.1. Les cas des chrono-espèces

Comme dans la plupart des sites naturels, le spectre faunique de l'Igue du Gral est dominé par le trio d'ongulés largement répandu dans les environnements pléistocènes (renne, cheval, bison). Il est ici accompagné du cerf et de taxons de plus petite taille, mais très bien représentés (cas du lièvre ou du lapin de garenne et exceptionnellement ici du loup). D'autres taxons sont représentés par un petit nombre d'individus, voire par un seul individu. C'est le cas par exemple de l'ours, du saïga ou du glouton. Ainsi,

lors de la mise en place des sédiments dans l'aven, leurs squelettes ont été disloqués et les connexions anatomiques sont rares. Chaque élément osseux pouvant être relié, une ligne de synchronie dans le remplissage de l'aven peut ainsi être créée. Cette dislocation peut donc être utilisée comme fil conducteur dans la reconstruction des ensembles fauniques. La présence de restes de ces espèces rares dans un niveau peut alors nous guider dans l'association du niveau à une chronologie relative, d'où l'utilisation du terme chrono-espèce.

Un exemple est donné à travers la dispersion des restes du saïga, du glouton et de l'ours brun (Fig. 5). Il apparaît donc que les restes de saïga se trouvent dans la deuxième

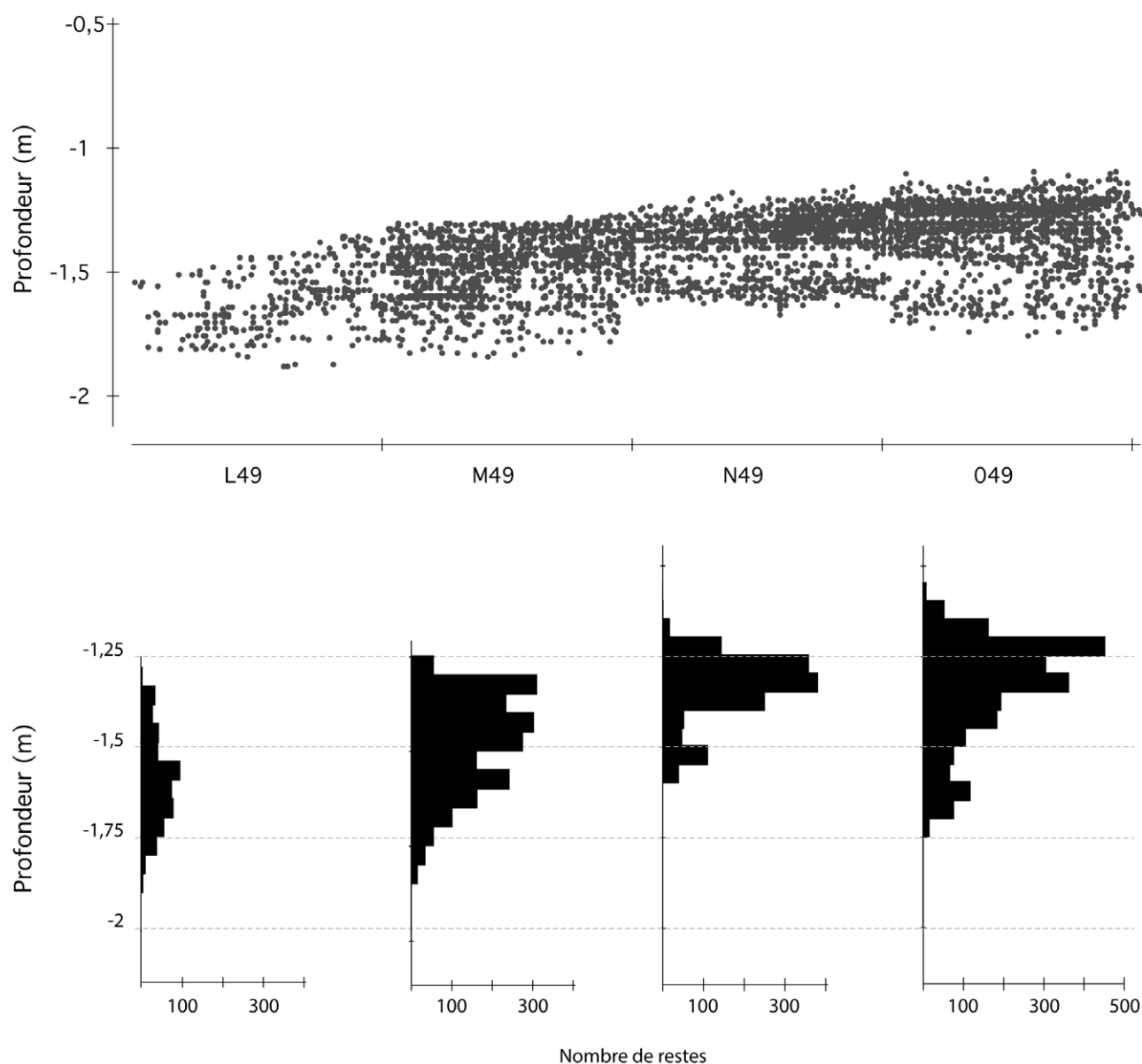


Fig. 4: Projection sagittale des éléments enregistrés dans les 3 dimensions de l'espace en LMNO49 et nombre de vestiges coordonnés et issus du tamisage en fonction des tranches altitudinales (PAO-DAO J.-B. Mallye).

nappe de vestiges décrite précédemment alors que les restes d'ours se situent dans la troisième nappe identifiée pour le secteur Avant. Les restes de glouton sont quant à eux répartis dans la troisième, mais aussi dans la quatrième nappe; l'analyse paléontologique démontre en effet la présence de deux individus (Mallye & Pelletier, 2024).

### 3.3.2. Les espèces majoritaires

L'étude de la projection des vestiges selon leur attribution spécifique en considérant les espèces majoritaires (pour rappel, renne, lièvre, cheval, bison, lapin, loup,

cerf) et certaines plus particulières (sanglier, bouquetin et chamois) autorise un autre type de visualisation de nappes distinctes.

Dans le secteur Avant, il est aisément possible de distinguer 4 nappes particulières (Fig. 6):

- la première, au sommet, associe cerf et lapin et quelques restes de bison;
- la deuxième, nettement plus dense, se développe entre 1,25 m en P47 et 1,75 m en R47. Elle contient de nombreux restes de rennes, chevaux, bisons et lièvres ainsi que des restes de loups en grand nombre;
- la troisième (entre 1,75 m et 2 m) se caractérise par le même trio d'ongulés, auquel s'ajoutent quelques restes épars de bouquetin;



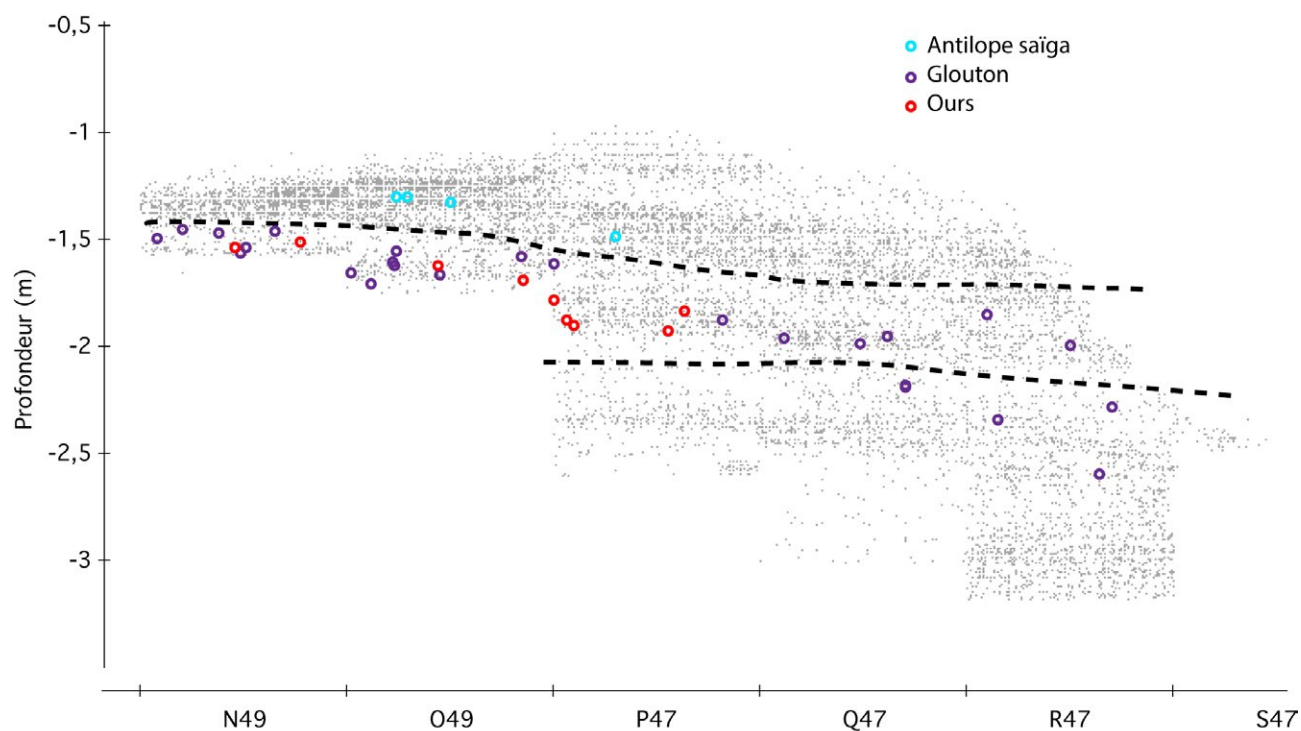


Fig. 5: Projection sagittale des restes de saïga, glouton et ours brun (PAO-DAO J.-B. Mallye).

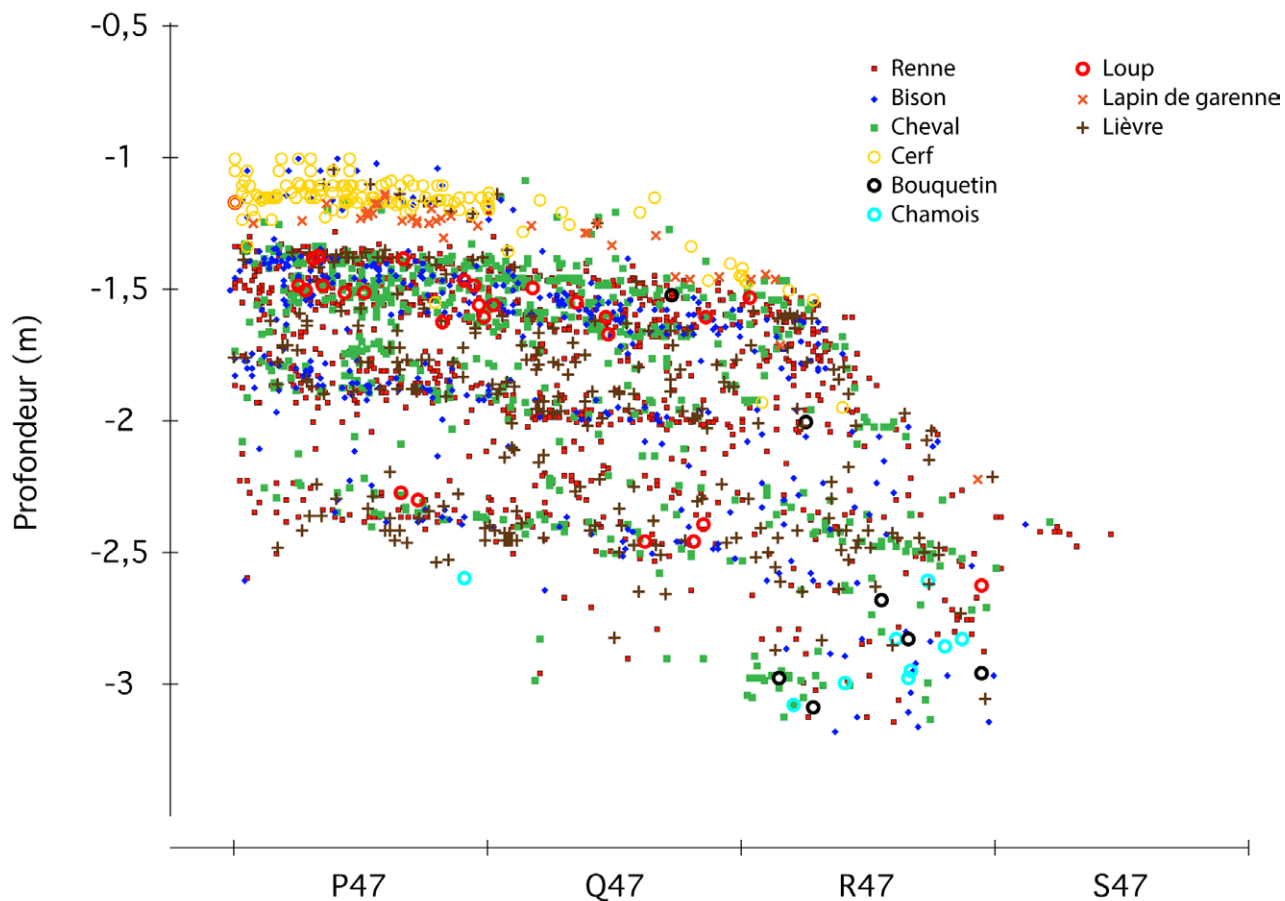


Fig. 6: Projection sagittale des restes coordonnés des espèces principales dans la bande 47 (PAO-DAO J.-B. Mallye).

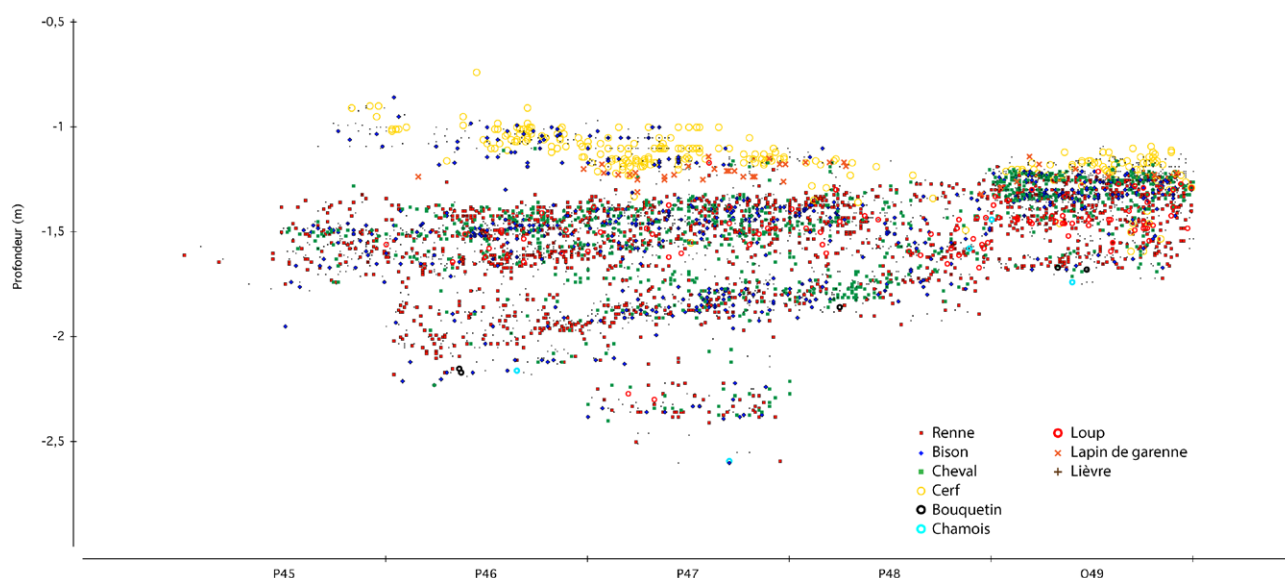


Fig. 7: Projection frontale des restes coordonnés des espèces principales dans la bande P additionnée du carré O49 (PAO-DAO J.-B. Mallye).

- la quatrième (entre 2,25 m et 2,50 m), globalement moins dense, comprend les mêmes espèces ;
- enfin, à la base de la zone fouillée (R47 au-delà de 2,70 m), bien qu'aucune nappe franche ne ressorte, la présence de restes de chamois illustre un changement par rapport aux nappes sus-jacentes.

La projection frontale de ces mêmes vestiges (Fig. 7) permet d'apprécier le développement des nappes selon un axe est-ouest. La lecture est quelque peu gênée du fait du pendage sud-nord précédemment mis en évidence qui dilate artificiellement les nappes dans leur épaisseur.

On reconnaît cependant :

1. l'ensemble sommital à cerf-lapin-bison qui forme un ensemble très dilaté vers l'ouest et qui semble se pincer dans la partie orientale du remplissage ;
2. un paquet sous-jacent légèrement incliné vers l'ouest livre des restes du trio renne-cheval-bison associé aux nombreux restes de loups. C'est dans ce bloc qu'ont été déterminés les restes de saïga ;
3. une nappe plus inclinée encore vers l'ouest qui comprend le même trio d'ongulés auquel s'ajoutent des restes de rupicoles (bouquetin et chamois). L'ours et le glouton constituent les deux chrono-espèces de cet ensemble ;
4. un dernier ensemble situé à  $z = 2,30$  m qui rassemble moins de restes, mais dans lequel le renne, le cheval, le bison, le chamois et le loup ont été identifiés ; il correspond à la quatrième nappe décrite précédemment dans la bande 47 (Fig. 2).

La projection des restes déterminés dans la partie nord-ouest du secteur Arrière (Fig. 8) est plus délicate à interpréter, car la stratigraphie y est beaucoup moins dilatée que dans le secteur Avant et il demeure difficile de séparer les différentes nappes de vestiges. On reconnaît dans la partie N49-O49 la biostratigraphie précédemment

mise en évidence sur la bande 47, avec cependant une contraction généralisée des dépôts. Au sommet se trouve une nappe de vestiges contenant du cerf et du lapin de garenne qui vient au contact direct d'une nappe comprenant le trio d'ongulés pléistocènes (renne-cheval-bison) accompagné des nombreux restes de loup, celle-ci étant inclinée vers le nord. Elle surmonte une troisième nappe comprenant les restes des mêmes ongulés accompagnés de restes de chamois et bouquetin.

La fouille du secteur Arrière ne permet pas à ce jour d'étudier la répartition spatiale des vestiges fauniques le long d'un plan frontal (est-ouest), seules deux travées (49 & 50) étant ouvertes.

### 3.4. Projections des raccords effectués sur le matériel osseux

Si la plupart des pièces exhumées sont complètes ou quasi complètes comme c'est généralement le cas en contexte de piège naturel, certains ossements ont été trouvés brisés en plusieurs fragments. Ces cassures ont pu être provoquées lors de la chute des individus dans le piège naturel ou beaucoup plus tard lors de la mise en place des dépôts. Les processus post-dépositionnels ont également contribué de manière significative à la fragmentation des portions osseuses, notamment des crânes des grands ongulés. Dans ce cas, les dents ont été déchaussées des maxillaires et/ou des mandibules et le remontage de ces éléments a aussi été considéré, d'une part lors du décompte des individus et d'autre part lors de l'étude des populations piégées *via* l'analyse des courbes d'âges (cf. par exemple Bignon-Lau, 2024 pour le cheval). En ce qui concerne les ossements, les raccords entre plusieurs fragments d'un même os n'ont pas été réalisés

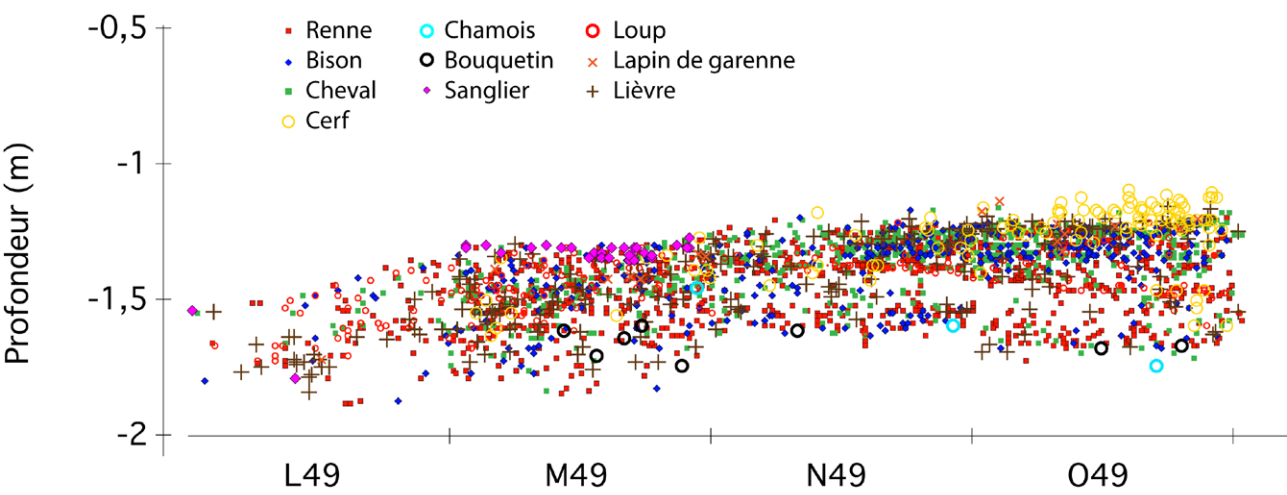


Fig. 8 : Projection sagittale des restes coordonnés des principales espèces dans le secteur Arrière (bande 49) (PAO-DAO J.-B. Mallye).

de manière systématique pour chaque taxon, mais ont été recherchés sur les os longs de renne et les fragments de taille équivalente, sur les restes de loup et d’autres carnivores ainsi que sur les restes de léporidés. Cet échantillonnage se veut être assez représentatif, car il rassemble les restes des espèces parmi les plus représentées dans l’aven.

Plusieurs éléments de squelette appartenant aux principales espèces (renne, bison, cheval, cerf, loup et lièvre) ont été préservés en connexion (Castel & Boudadi-Maligne, 2024). Ils n’ont pas été systématiquement pris en compte dans le présent exercice. Enfin, bien qu’un travail ait été réalisé sur les restitutions articulaires des bas de pattes de renne (Castel & Kuntz, 2024), nous ne les avons pas prises en compte ici du fait de leur fiabilité le plus souvent jugée très basse.

Au total, 918 pièces ont pu être raccordées (Tab. 4). La plupart des pièces bénéficiant de raccords ayant été coordonnées, il a ainsi été possible de calculer 412 distances de remontage. Les valeurs obtenues se distribuent de 0 cm à plus de 4 m. La moyenne des distances calculées est de 43 cm, la médiane se situe à 14,2 cm. Il apparaît que 90 % des remontages se font sur des distances inférieures à 1,5 m et 30 % sur une distance inférieure à 10 cm. Dans

ce dernier cas, il peut s’agir d’os cassés, mais dont les fragments, non reconnus comme tels lors de la fouille, ont pu être coordonnés séparément. Connaissant le contexte de mise en place des sédiments, ces valeurs ne sont pas surprenantes. La plus grande partie des remontages réalisés intéresse des pièces qui proviennent des mêmes nappes de vestiges. Certains remontages ont été réalisés à partir de pièces provenant des deux secteurs de fouille (Figs 9, 10). Les nappes de vestiges identifiées dans ces deux secteurs ont ainsi pu être mises en synchronie.

3.5. Répartition des éléments minéraux « rares »

Présents essentiellement entre 1 et 2 m de profondeur (Fig. 11), les éléments lithiques (silex et quartz) sont trop rares et trop disparates pour permettre de définir une éventuelle phase au cours de laquelle ils se seraient déposés. Les quartz sont d’ailleurs présents dans toute la séquence. Il faut donc en conclure que leur origine correspond à de multiples événements (Ducassee *et al.*, 2024). En revanche, la découverte de nombreux fragments de schiste (ou chlorito-schistes), dont la longueur dépasse rarement 13 mm, a constitué un apport très

Tableau 4 : Nombre de pièces raccordées selon les taxons considérés.

Taxons	Renne	Cerf	Bison	Chamois	Sanglier	Cheval	Ongulé	Loup	Renard	Glouton	Blaireau	Putois	Lièvre	Lapin de garenne	Oiseaux
Nombre	205	32	31	3	2	210	28	72	17	6	2	2	230	19	46

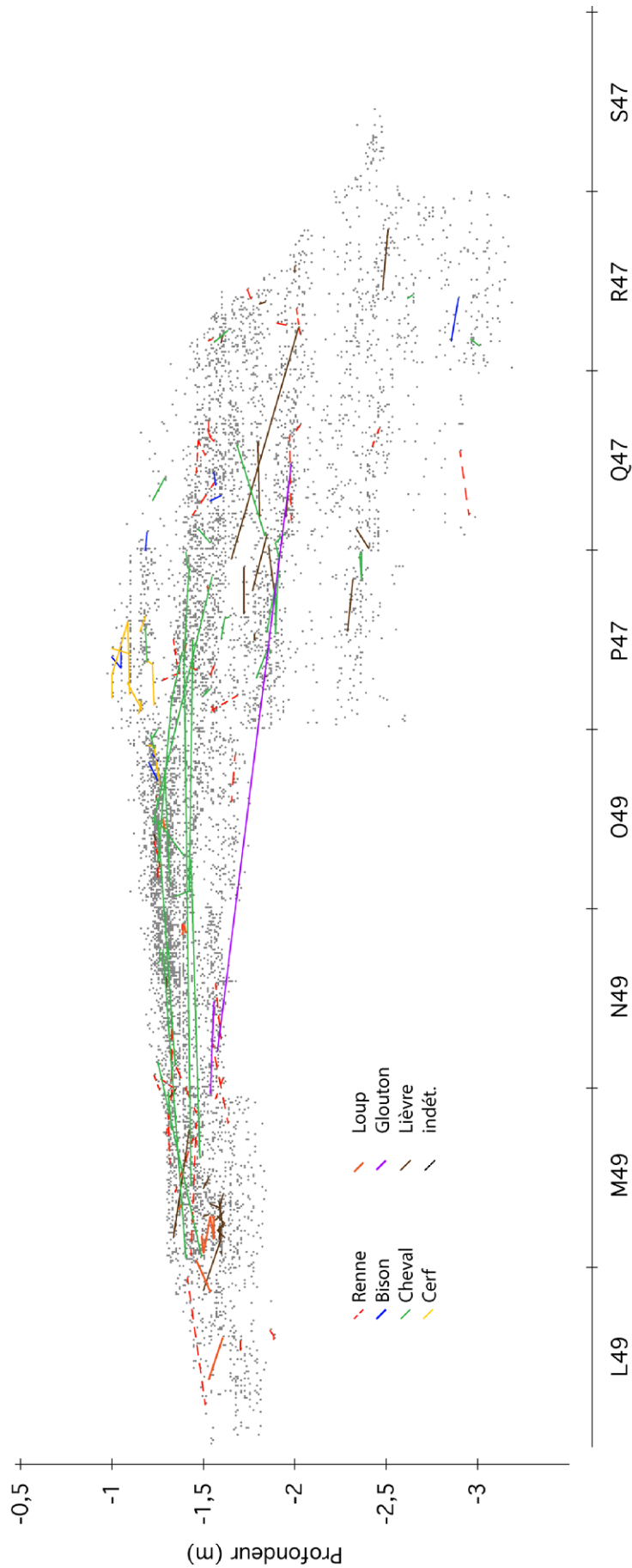


Fig. 9 : Projection sagittale des raccords réalisés sur les restes de différents taxons (PAO-DAO J.-B. Mallye).

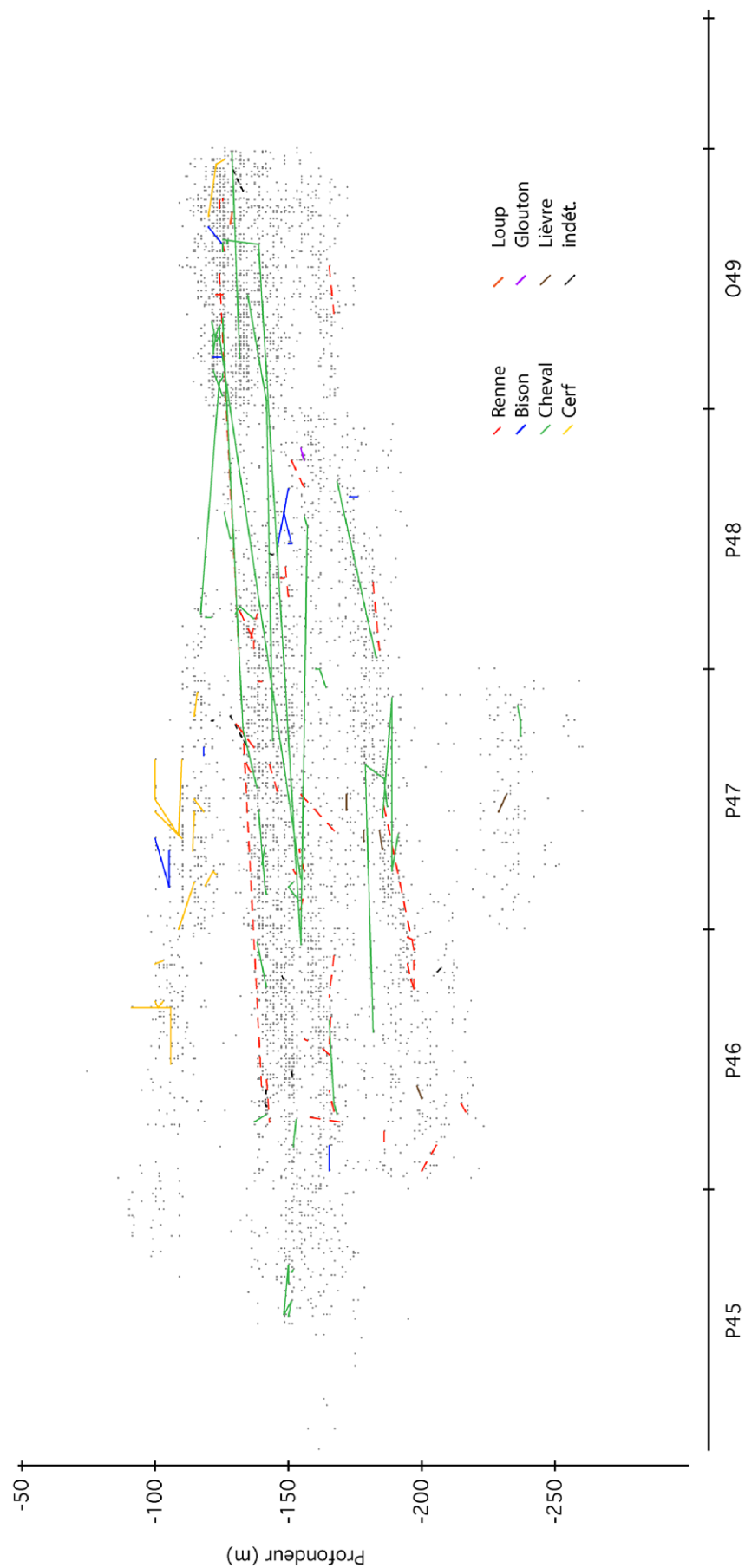
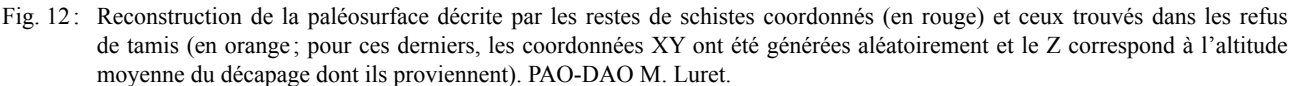
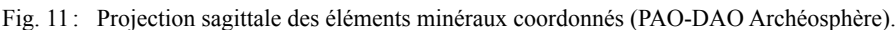


Fig. 10 : Projection frontale des raccords réalisés sur les restes de différents taxons.





inattendu à la perception des remplissages de l'aven. S'ils n'ont pas systématiquement été repérés lors des premières campagnes, leur distribution spatiale montre néanmoins qu'ils sont tous répartis entre les première et deuxième nappes de vestiges précédemment identifiées. Leur dispersion en plan détermine une paléosurface avec un faible pendage vers le nord-ouest (Fig. 12).

### 3.6. Répartition spatiale des dates radiocarbone

La réalisation des nombreuses dates radiocarbone a permis de tester tout au long de la fouille les hypothèses

de travail relatives à la biostratigraphie du site qui nous était alors livrée. C'est le résultat d'un effort consenti par les autorités du Service Régional de l'Archéologie qui a rapidement compris tout l'intérêt que la fouille de l'aven pouvait apporter à la compréhension des biocénoses passées et par des modalités d'occupation anthropique du territoire durant le Paléolithique supérieur.

L'ensemble des dates, une fois calibrées (Tab. 5) et repositionnées selon leur ordre d'apparition en stratigraphie (Fig. 13), autorise plusieurs constats.

L'Igue du Gral offre un enregistrement quasiment continu entre 11 et 36 ka calBP avec une lacune chronologique au sein de la séquence centrée sur la palynozone du Bølling-

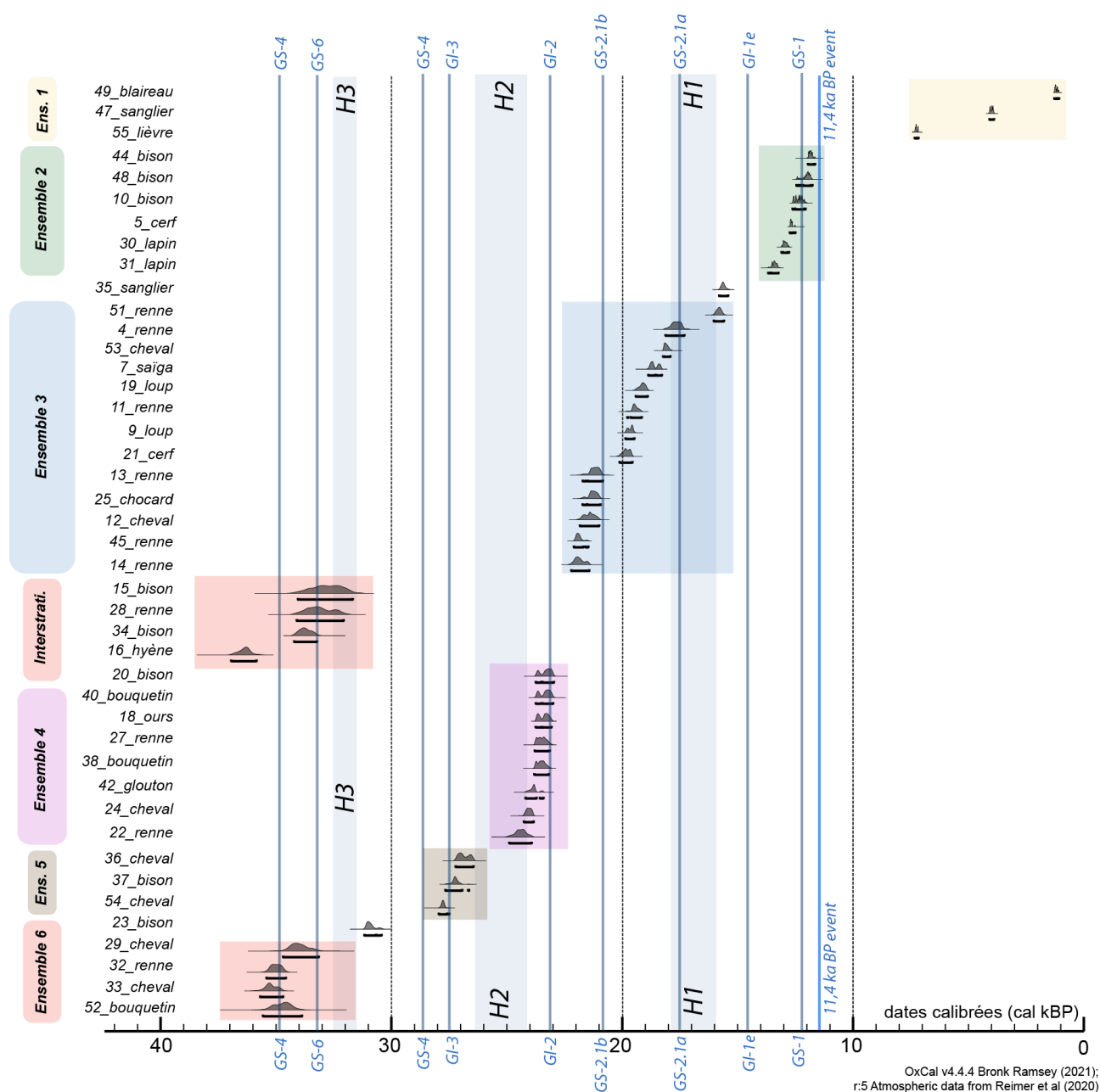


Fig. 13: Dates calibrées et figurées en fonction de leur apparition dans la stratigraphie (PAO-DAO M. Boudadi-Maligne).

Tableau 5 : Dates brutes et calibrées réalisées sur les restes fauniques de l'Igüe du Gral, présentées dans l'ordre de la stratigraphie exception faite des 5 premières dates qui correspondent à des éléments récoltés en dehors de la fouille (cheminée, plancher stalagmitique suspendu, coupe naturelle, diverticule ou en surface).

n°	Espèces	Partie squelettique	Références	X-Y	Profondeur (cm)	Réf. Labo	Méthode	Dates BP	±	OxCal 4.4 IntCal20 BP 95.4%
8	Cheval	tibia	Base coupe nat.	HS	> 400 cm	Lyon-3087 (Poz)	AMS	26320	410	31186-29933
26	Loup	mandibule	Diverticule-184	32-6	61	Lyon-9070(SacA 28337)	AMS	15850	80	19379-18924
17	Mégaceros	talus	R45 à U48-30	hors strati	250-350	OxA-21062	AMS	42400	700	46380-44075
41	Cheval	métapode	Q48-plancher suspendu	90-20	81	Lyon-12294(SacA 42812)	AMS	12420	50	14920-14260
43	Homme	métatarsien 2	GRAL X 396		chem	Lyon-12293(SacA 42811)	AMS	2545	30	2748-2498
49	Blaireau	métapodes	L49-46(+113)	64-39	154	Lyon-12848(SacA 45103)	AMS	1250	30	1277-1073
47	Sanglier	incisive	M49d3-67	34-58	132	Beta 397432	AMS	3660	30	4086-3897
55	Lièvre brun	mandibule	P43d4-54	12-36	141	Beta 426805	AMS	6340	30	7325-7166
10	Bison	phalange 1	P46d3-49	50-20	105	Lyon-4437(SacA 8620)	AMS	10440	50	12615-12059
48	Bison	tibia	P47d6-125	1-80	104	Poz-69596	AMS	10260	50	12447-11761
44	Bison	radius	P47d4-76	40-10	115	Beta 397431	AMS	10180	40	11949-11649
5	Cerf	scapula	P48d4-15	43-25	119	Ly-16389	AMS	10650	50	12735-12500
		ulna	P48d2-296	tamis	118 +/- 3					
35	Sanglier	métapode	P47-277	21-1	109	Beta-366705	AMS	13040	50	15800-15408
6	Léporidés	lot d'os longs	Q47 déc 2 à 5	LOT	125-141	Ly-16390	AMS	10520	55	12703-12192
30	Lapin	fémur	P48d3-1	27-35	117	Lyon-11697(SacA 39168)	AMS	11110	70	13161-12842
31	Lapin	fémur	P43d12-395	19-20	154	Lyon-11698(SacA 39169)	AMS	11610	90	13740-13300
2	Renne	lot > 1 kg	P46 et P47	LOT	143 +/- 7	Ly-12419	classique	13360	70	16296-15838
1	Gds ongulés	lot > 1 kg	O44-O45	LOT X<40	145 environ	Ly-11518	classique	13680	55	16770-16330
3	Cheval	3 os longs	M50 et N50	LOT	137 à 156	Ly-12418	classique	13970	90	17311-16675
51	Renne	calcaneus	P46d16-378	61-50	142	Lyon-12850(SacA 45015)	AMS	13170	70	16029-15594
53	Cheval	sésamoïde	Q47d6-67	84-15	138	Beta-426806	AMS	14760	50	18227-17917
9	Loup	humérus	M50-109	28-80	139	Lyon-3631(SacA)	AMS	16260	70	19855-19476
4	Renne	fémur	Q45d4-73	82-55	176	Ly-16388	AMS	14460	130	18120-17310
7	Saïga	métatarsien	P48d12-215	61-13	143	Lyon-3086 (Poz)	AMS	15350	120	18865-18285
19	Loup	métacarpien 2	P46d38-1004	69-89	164	Lyon-6451(SacA 17871)	AMS	15840	100	19407-18896
11	Renne	phalange 1	P46d38-1006	82-57	159	Lyon-4438(SacA 8621)	AMS	16120	90	19777-19156
21	Cerf	métacarpe	O49d53-1249	77-3	140	Lyon-7393(SacA 21492)	AMS	16430	100	20109-19559
13	Renne	phalange 2	Q46d38-943	39-30	190	Lyon-5609(SacA 12685)	AMS	17520	130	21707-20842
12	Cheval	calcaneus	P46d43-1129	90-43	173	Lyon-4439(SacA 8622)	AMS	17680	110	21829-21001
14	Renne	ulna	P47d49-1288	70-100	164	Lyon-5608(SacA 12684)	AMS	17990	130	22204-21430
25	Chocard	ulna	R46d11-183	75-43	200	Lyon-9069(SacA 28336)	AMS	17600	100	21714-20939
			R46d12-202	79-39	199					
45	Renne	mandibule	P47d60-1560	68-10	178	Beta-397430	AMS	17970	60	22090-21469
34	Bison	scaphoïde	O49-1924	53-39	161	Beta-366706	AMS	29180	180	34209-33229
15	Bison	phalange 1	P47d62-1622	63-35	186	Lyon-5607(SacA 12683)	AMS	28530	460	34047-31679
16	Hyène	métacarpien 4	P46d60-1706	55-96	205	OxA-20763	AMS	31990	240	36935-35846
28	Renne	métatarse	P47d76-1889	51-30	187	Lyon-9072(SacA 28339)	AMS	28800	340	34100-32068
20	Bison	phalange 1	P46d65-1835	24-10	223	Lyon-6452(SacA 17872)	AMS	19290	150	23742-22960
18	Ours brun	crâne (cornets)	P46d61-1727	85-42	213	OxA-21062	AMS	19390	100	23744-23063
22	Renne	fémur	Q47d48-1424	74-37	210	Lyon-7392(SacA 21491)	AMS	20290	160	24890-23926
24	Cheval	côte	Q47d65-1769	66-76	248	Beta-288736	AMS	20040	90	24255-23836
27	Renne	calcaneus	O49d68-2033	65-86	163	Lyon-9071(SacA 28338)	AMS	19490	120	23787-23139
38	Bouquetin	incisive	R47-435	60-25	200	Lyon-11435 (SacA 38078)	AMS	19530	120	23804-23176



n°	Espèces	Partie squelettique	Références	X-Y	Profondeur (cm)	Réf. Labo	Méthode	Dates BP	±	OxCal 4.4 IntCal20 BP 95.4%
40	Bouquetin	humérus	O49-2018	33-80	167	Lyon-11437 (SacA 38080)	AMS	19330	120	23741-22995
42	Glouton	métacarpien 2	R47d24-865	82-70	228	Lyon-12292(SacA 42810)	AMS	19810	120	24182-23410
36	Cheval	métapode vest.	P47-2111	65-82	237	Lyon-11433 (SacA 38076)	AMS	22570	160	27214-26443
37	Bison	scaphoïde	Q47-1655	42-31	236	Lyon-11434 (SacA 38077)	AMS	22910	160	27659-26635
54	Cheval	petit sésamoïde	Q47d67-1828	70-100	253	Beta-426807	AMS	23610	100	27939-27499
23	Bison	côte	R46d23-739	31-72	267	Beta-288737	AMS	26700	190	31169-30428
29	Cheval	phalange 1	Q46d62-1940	75-62	299	Lyon-9073(SacA 28340)	AMS	29520	370	34689-33150
52	Bouquetin	troisième molaire inf.	R47d46-1247	0-28	308	Lyon-12849(SacA 45104)	AMS	30200	440	35560-33875
32	Renne	phalange 1	R47-1249	0-62	306	Beta-366708	AMS	30640	200	35407-34577
33	Cheval	métacarpe	R47-1189	68-29	296	Beta-366707	AMS	30880	190	35684-34693
39	Chamois	radius	R47-1241	6-65	297	Lyon-11436 (SacA 38079)	AMS	25410	220	30055-29205

Allerød (GI-1). Cependant, les datations réalisées sur deux restes de lapin (J.-B. Mallé *via* le programme ARTEMIS 2015 de PACEA) ainsi que sur un métapode de cheval provenant du plancher stalagmitique suspendu (programme ARTEMIS 2015), permettent de la combler partiellement. Les dates réalisées (30, 31 et 41) tendent à démontrer que l'accumulation des petits mammifères est contemporaine de l'Allerød et que le plancher stalagmitique s'est mis en place au cours du Bølling. Cette période est donc bel et bien enregistrée dans l'Igue du Gral, bien que nous ne puissions pas la considérer comme réellement documentée paléontologiquement dans la partie de l'aven qui a été fouillée. Il est fort probable que des phénomènes géologiques et/ou environnementaux (mise en place du plancher stalagmitique) limitent aujourd'hui notre accès à ces dépôts.

Une «lacune» chronologique semble par contre identifiable entre 20,3 et 22,5 ka BP soit entre 25 et 26,5 ka calBP, ce qui semble correspondre au début de l'événement de Heinrich 2 (voir Bertran *et al.*, 2003). Même s'il peut s'agir de l'absence de datation d'un corpus assez discret dans cette partie de la cavité, les conditions climatiques extrêmes de cette période nous poussent à nous interroger sur l'impact du climat et dans le cas présent, du développement du pergélisol sur le piégeage des grands ongulés en aven. Peut-on imaginer que ce pergélisol ait totalement colmaté les cheminées de l'aven, rendant impossible tout piégeage de sédiments et de faune ? Au contraire, peut-on envisager que les conditions climatiques étaient si extrêmes que peu d'espèces étaient encore présentes dans l'environnement ?

A ce stade, les données chronologiques obtenues peuvent être confrontées aux nappes de vestiges qui constituent le remplissage. Il est possible de superposer le registre chronologique au registre spatial précédemment obtenu (Figs 14-16).

L'ensemble sommital de la stratigraphie est celui qui rassemble les dates comprises entre 11,6 et 13,7 ka calBP (Dates 5A, 10, 30, 31, 35, 44, 48).

La nappe de vestiges sous-jacente regroupe des vestiges qui ont été datés entre 15,6 et 22,2 ka calBP (Dates 4, 7, 9, 11, 12-14, 19, 21, 25, 45, 51 et 53).

Un autre ensemble de pièces rassemble quant à lui un lot de dates hétérogènes qui peuvent être séparées en deux. Le premier, en continuité avec les dates précédentes, livre des âges qui s'étalent entre 22,9 et 24,9 ka calBP (Dates 18, 20, 22, 24, 27, 38, 40 et 42) ; le second (Dates 15, 16, 28 et 34 ; Fig. 16) regroupe des objets qui ont été datés entre 31,6 et 36,9 ka calBP. Cette discordance chronologique s'explique par la mise en place de sédiments de couleur rouge vif provenant d'une autre source et contenant du matériel plus ancien. Elle a été mise en évidence lorsque le premier reste d'hyène des cavernes a été identifié et daté directement, car reposant au milieu d'une faune alors considérée comme relative à la fin du Pléniglaciaire alors que cette espèce est considérée comme éteinte à cette période (Stuart & Lister, 2014).

Plus en profondeur, un autre ensemble de dates obtenues sur des objets appartenant à un même ensemble peuvent être regroupées, elles oscillent entre 26,4 et 31,1 ka calBP (Dates 23, 36, 37, 54).

Enfin, le dernier ensemble de vestiges identifié, le plus profond, livre des âges compris entre 29,2 et 35,7 ka cal BP (Dates 32, 33, 39, 52 ; Fig. 14).

#### 4. SYNTHÈSE CONCERNANT LES ENSEMBLES

Au terme de ces analyses, il est possible de reconstruire *a posteriori* une biochronostratigraphie du gisement. La concordance entre les résultats de l'analyse des nappes de vestiges (5 nappes identifiées), de la distribution des espèces et des individus (5 bionappes), de l'analyse spatiale des raccords et de la distribution des dates radiocarbone (5 chrononappes + 1 discordance), nous permet d'individualiser 5 ensembles pléistocènes coiffés par des sédiments holocènes (Figs 17, 18). Ces derniers n'ont

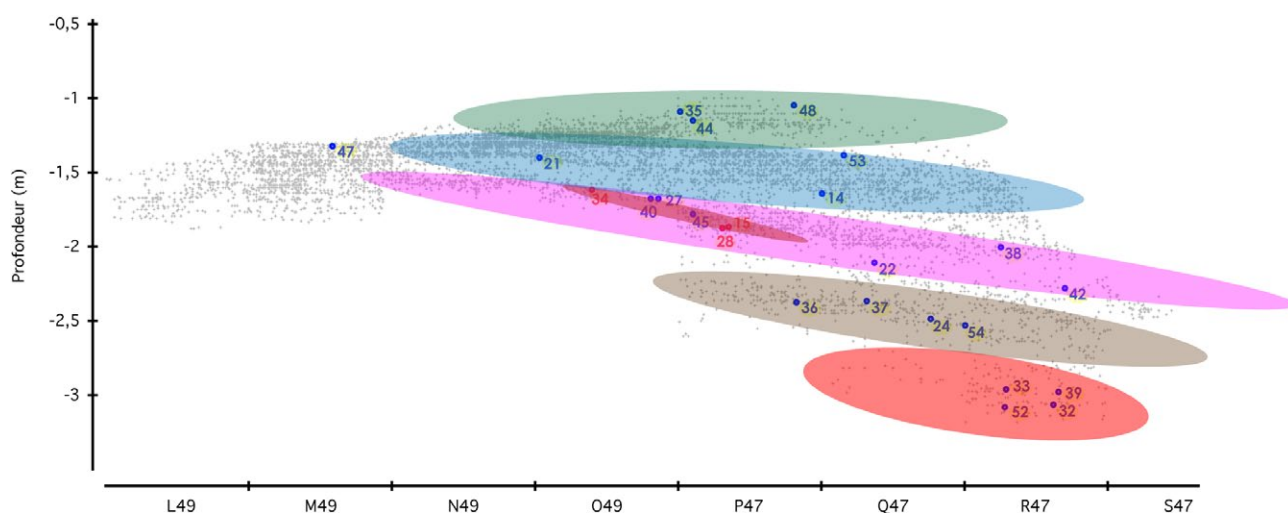


Fig. 14: Projection des éléments datés dans les bandes 49 pour le secteur Arrière et 47 à l'Avant. Les ellipses de couleur regroupent les dates directes correspondant à un même pas de temps (PAO-DAO J.-B. Mallye).

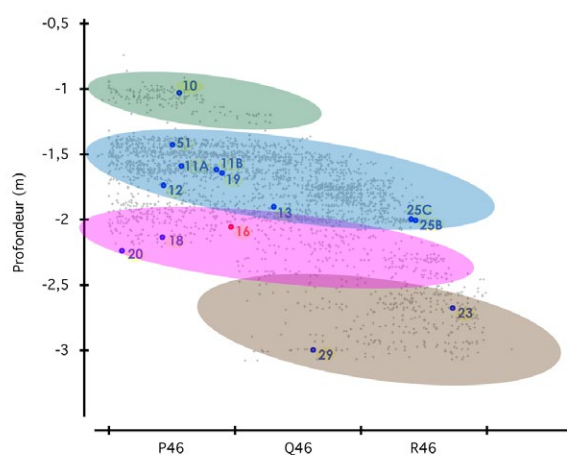


Fig. 15: Projection des éléments datés dans la bande 46 du secteur Avant. Les ellipses de couleur regroupent les dates directes correspondant à un même pas de temps (PAO-DAO J.-B. Mallye).

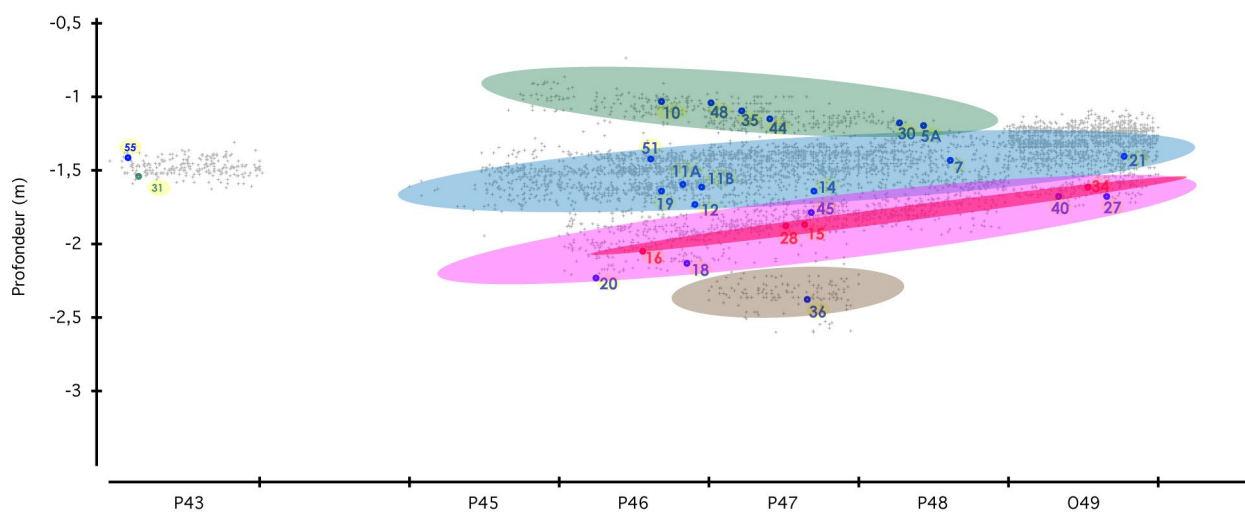


Fig. 16: Projection des éléments datés dans la bande P à l'Avant additionnée du carré O49. Les ellipses de couleur regroupent les dates directes correspondant à un même pas de temps (PAO-DAO J.-B. Mallye).

jamais pu être véritablement décrits et mis en évidence par les précédentes analyses étant donné qu'ils ont été largement évacués lors de la désobstruction de la cheminée d'accès à l'aven :

**Ensemble 1** – Holocène - Rare faune tempérée sauvage et domestique avec présence d'intercalations de riches passées de malacofaune, bois végétal, os brûlés et céramique. Au sommet de cette formation, les spéléologues avaient collecté des restes humains datés de la Protohistoire.

**Ensemble 2** – Cet ensemble est remarquable par sa richesse en restes de cerf et de bison ; sa base est un niveau presque exclusivement constitué de lapin de garenne. Il se forme entre 11,6 et 13,7 ka calBP.

**Ensemble 3** – Constitué du trio renne-cheval-bison et d'un fond lièvre variable, cet ensemble se démarque par sa richesse en restes de loup et la présence plus marginale d'antilope saïga. Il se met en place entre 15,6 et 22,2 ka calBP.

**Ensemble 4** – Egalement constitué du trio d'ongulés et du fond de lièvre variable, il se distingue du précédent par une forte proportion de restes de chocard, mais éga-

lement par la présence de restes d'ours et de glouton. Il se forme entre 22,9 et 24,9 ka calBP. Il est coiffé d'un ensemble sédimentaire rouge qui contient du matériel plus ancien (ca 33 ka calBP).

**Ensemble 5** – A nouveau constitué du trio d'ongulés de base et du fond lièvre variable et chocard, il voit réapparaître le loup et se démarque des ensembles précédents par la présence de restes de très gros ongulés (mammouth et rhinocéros). Il se met en place entre 26,4 et 31,2 ka calBP.

**Ensemble 6?** – Cet ensemble est fouillé sur une très faible surface (2 m<sup>2</sup>). Il semble toutefois se démarquer de l'Ensemble 5 par les très nombreux restes de chocard et de lièvre ainsi que par la présence plus importante de bouquetin et de chamois. Il est dans la continuité antérieure chronologique de l'Ensemble 5. Les dates radiocarbones obtenues sur les vestiges attribués à cet ensemble sont comparables à celles qui ont été obtenues dans la discordance au-dessus de l'Ensemble 4 (*ie* niveau rouge interstratifié).

Ces différents ensembles paléontologiques ne sont pas tous représentés par des stocks osseux comparables. En

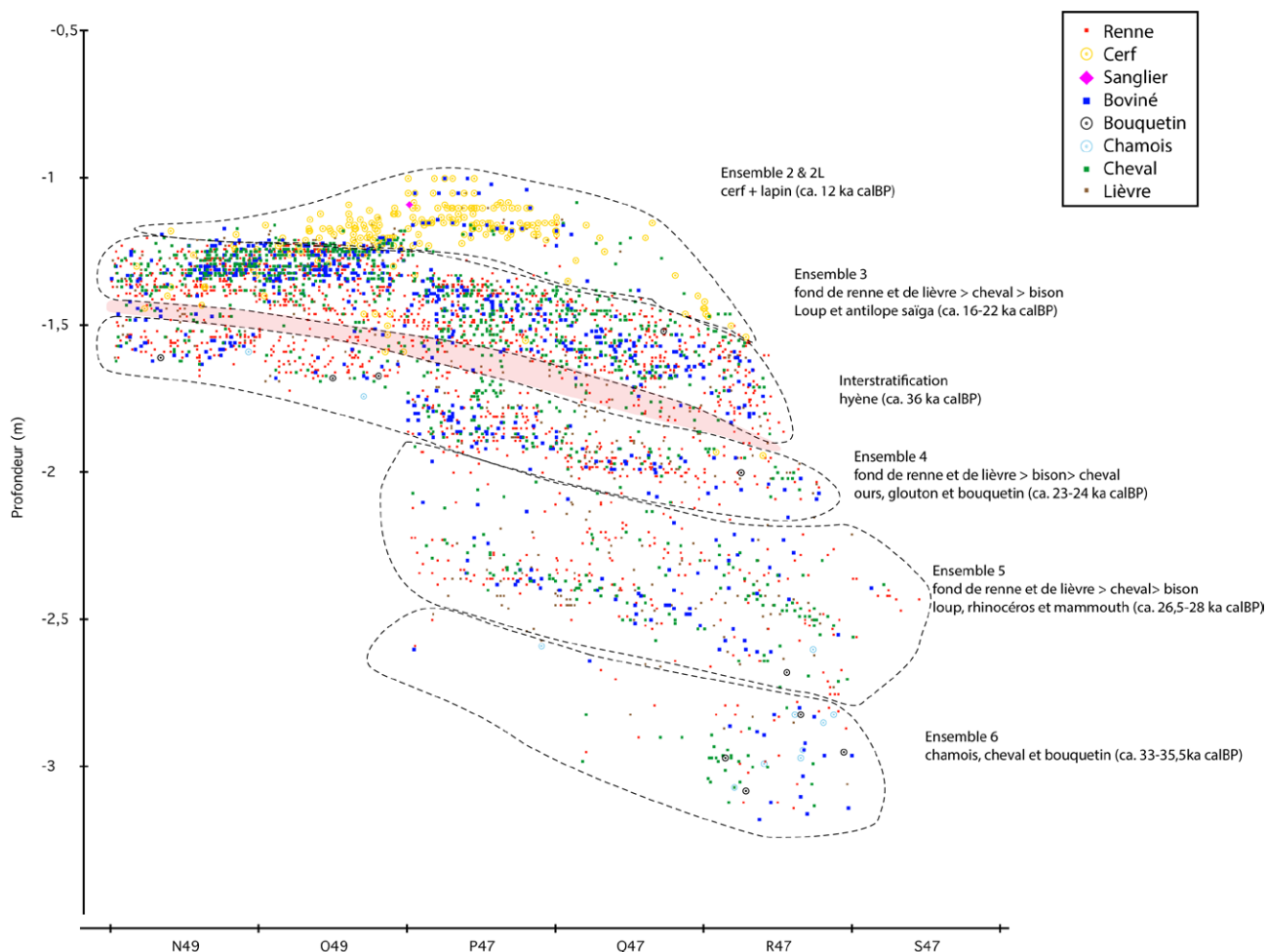


Fig. 17: Les différents ensembles bio-chrono-stratigraphiques mis en évidence à l'Igue du Gral (PAO-DAO J.-B. Mallye).

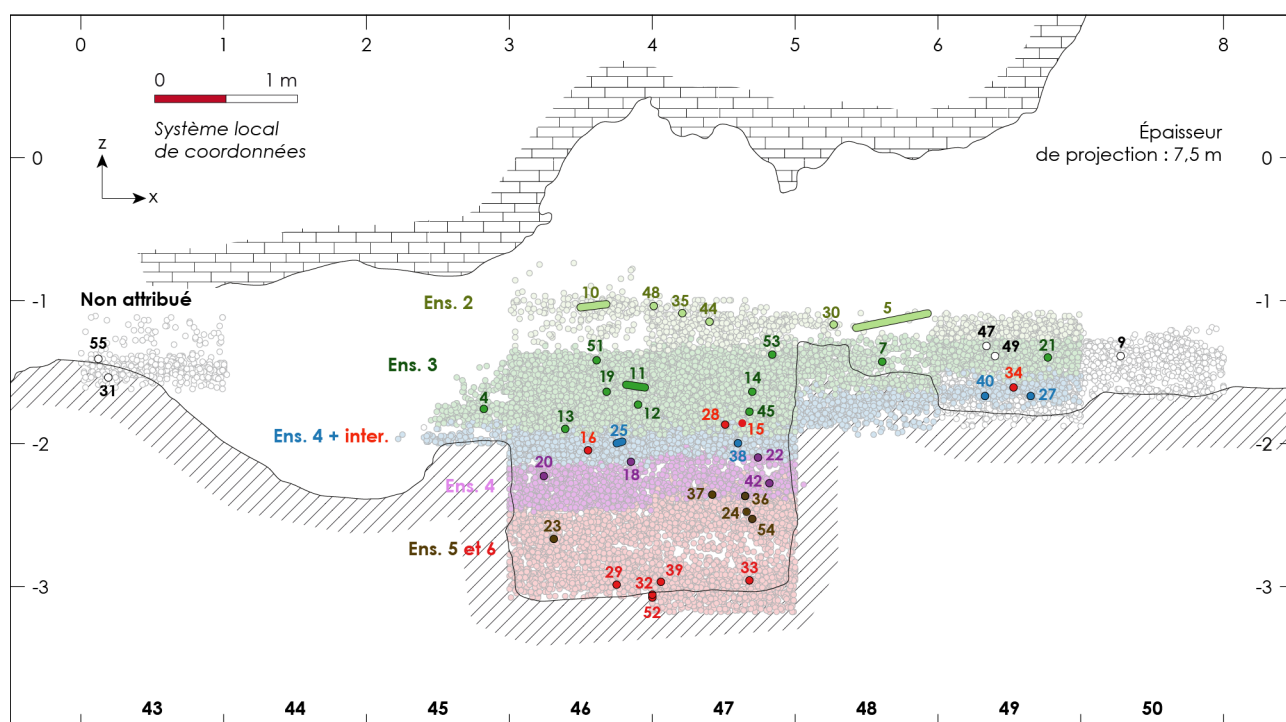


Fig. 18 : Projection frontale des vestiges datés et regroupés par pas de temps. Les numéros des dates correspondent à ceux fixés progressivement à l'Igue du Gral lors de l'envoi d'échantillons. Se référer aux Tableaux 2, 3 et 5 pour disposer des références complètes et de la nature du vestige daté. © GetInSitu

effet, si les Ens. 3 et 4 renferment chacun plusieurs milliers de vestiges autorisant une analyse quantifiée robuste, ce n'est pas le cas des Ensembles 1, fortement altérés par les travaux de désobstruction, ou de l'Ensemble 2 qui semble être moins dense et enfin des Ens. 5 et 6 fouillés sur une très petite surface.

Quoi qu'il en soit, la fenêtre ouverte sur le remplissage paléontologique global de l'aven (environ 20 m<sup>3</sup> sur un total estimé à 1500 m<sup>3</sup>) permet de disposer de restes fossiles documentant l'évolution des biocénoses sur près de 20 ka, ce qui reste exceptionnel pour l'espace-temps considéré.

Cette caractérisation du corpus faunique de l'Igue du Gral en ensembles osseux suffisamment distincts est le support de la plupart des études paléontologiques et archéologiques qui forment les sections suivantes de ce volume. Il n'est cependant pas exclu que la poursuite des fouilles apportera des précisions, voire des modifications de ce découpage. Ainsi, la multiplication des datations permettrait de mieux appréhender la (bio-)chronologie interne de chaque nappe. Nous considérons d'ores et déjà que les Ensembles 5 et 6 ont été fouillés sur des surfaces et des volumes trop faibles pour ne pas risquer d'être remis en question. En outre la partie du secteur Arrière qui a été écartée du présent cadre d'analyse (sauf pour certaines études qui le permettaient : cerf et léporidés) pourra vraisemblablement être réintégrée en partie pour de futures analyses.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bertran P., Fontugne M. & Jaubert J. 2003. Permafrost aggradation followed by brutal degradation during the Upper Pleniglacial in Mongolia: the probable response to the H2 Heinrich event at 21 kyr BP. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14(1): 1-9.
- Bignon-Lau O. 2024. Spécificités et évolution des chevaux de l'Igue du Gral: analyses morphométriques et inférences comportementales. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), *L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur*. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 193-204.
- Boudadi-Maligne M. & Castel J.-C. 2024. Les loups (*Canis lupus*) de l'Igue du Gral: bilan de l'analyse taphonomique et paléontologique. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), *L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur*. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 329-352.
- Boudadi-Maligne M., Castel J.-C., Mallye J.-B., Bignon-Lau O., Brugal J.-Ph., Jeannet M., Kuntz D. & Sitzia L. 2014. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé (Lot / France), Rapport de première année d'aide à la publication*, SRA Midi-Pyrénées, 89 pp.
- Boudadi-Maligne M., Castel J.-C., Mallye J.-B., Bignon-Lau O., Laroulandie V. & Sitzia L. 2015. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé (Lot / France), Rapport de deuxième année d'aide à la publication*, SRA Midi-Pyrénées, 56 pp.
- Boudadi-Maligne M., Castel J.-C., Mallye J.-B., Bignon-Lau O., Muth X. & Lacrampe-Cuyaubère F. 2016. *Igue du*

- Gral, Sauliac-sur-Célé (Lot / France). Rapport de troisième année d'aide à la publication*, SRA Midi-Pyrénées, 37 pp.
- Bronk Ramsey C. 2021. OxCal Program v4.4., Radiocarbon Accelerator Unit, Université d'Oxford.  
<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html?>
- Camus H. 2008. Etude géologique et karstologique. In: Castel J.-C. & Coumont M.-P. (dir.), Camus H., Boudadi-Maligne M., Brugal J.-Ph., Desrue A., Kuntz D., Laroulandie V., Mallye J.-B. & Muth X. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée triannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 194-209.
- Camus H. 2011. Nouvelles données morpho-sédimentaires concernant les séquences de dépôt des remplissages paléontologiques. In: Castel J.-C., Boudadi-Maligne M., Mallye J.-B., Camus H., Brugal J.-Ph., Ferrand J., Guadelli J.-L., Jeannet M., Kuntz D., Laroulandie V. & Muth X. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée 2009, 3<sup>e</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 44-72.
- Camus H. 2024. Caractérisation morphokarstique de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 107-149.
- Castel J.-C. 2003. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport intermédiaire de fouille programmée*. SRA Midi-Pyrénées, 22 pp.
- Castel J.-C. 2006. Bilan des datations. In: Castel J.-C. & Coumont M.-P. (dir.), Camus H. & Kuntz D. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée, 1<sup>ère</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 43-45.
- Castel J.-C. 2007. Datations des ensembles archéologiques. In: Castel J.-C. & Coumont M.-P. (dir.), Camus H., Kuntz D., Boudadi-Maligne M. & Laroulandie V. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée, 2<sup>e</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 44-45.
- Castel J.-C. 2008. Datations des ensembles archéologiques. In: Castel J.-C. & Coumont M.-P. (dir.), Camus H., Boudadi-Maligne M., Brugal J.-Ph., Desrue A., Kuntz D., Laroulandie V., Mallye J.-B. & Muth X. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée triannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 66-68.
- Castel J.-C. 2009. Datations des ensembles paléontologiques. In: Castel J.-C., Coumont M.-P., Boudadi-Maligne M., Camus H., Ferrand J., Kuntz D., Laroulandie V., Luret M., Mallye J.-B. & Robert B. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée 2009, 1<sup>re</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 49-51.
- Castel J.-C. 2010. Datations des ensembles paléontologiques. In: Castel J.-C., Boudadi-Maligne M., Camus H., Ferrand J., Jeannet M., Kuntz D., Laroulandie V., Luret M., Mallye J.-B., Muth X., Randon O., Robert B. & Studer J. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée 2009, 2<sup>e</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 41-43.
- Castel J.-C. 2011. Datations des ensembles paléontologiques. In: Castel J.-C., Boudadi-Maligne M., Mallye J.-B., Camus H., Brugal J.-Ph., Ferrand J., Guadelli J.-L., Jeannet M., Kuntz D., Laroulandie V. & Muth X. *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport de fouille programmée 2009, 3<sup>e</sup> année d'opération pluriannuelle*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 36-38.
- Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. 2024. Eléments de contexte, taphonomie et informations contextualisant l'analyse des corpus osseux de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 43-59.
- Castel J.-C. & Kuntz D. 2024. Le renne de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 235-300.
- Castel J.-C. & Oberlin C. 2005. Les datations de l'Igue du Gral, campagnes 2001 à 2003. In: Castel J.-C. (dir.), *Igue du Gral, Sauliac-sur-Célé, Lot (46). Rapport triennal de fouille programmée*. SRA Midi-Pyrénées, pp. 95-97.
- Castel J.-C., Coumont M.-P., Brugal J.-Ph., Laroulandie V., Camus H., Chauvière F.-X., Cochard D., Guadelli J.-L., Kuntz D., Martin H. & Mourre V. 2008. La fin du Paléolithique supérieur en Quercy : l'apport de l'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot). *Mémoire de la Société préhistorique française*, XLVII : 335-353.
- Castel J.-C., Boudadi-Maligne M. & Mallye J.-B. 2024. Historique et méthodologie des recherches. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 25-42.
- Chaix L. & Castel J.-C. 2024. La malacofaune de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 457-464.
- Couture C., Escola M., Desrue A. & Castel J.-C. 2024. Etude anthropologique des vestiges humains protohistoriques de l'Igue du Gral et des pièges naturels de Monclar (Sauliac-sur-Célé). In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot) : histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2) : 465-474.
- Delpech F. 1993. The Fauna of the Early Upper Paleolithic Biostratigraphy of Large Mammals and Current Problems in Chronology. In: Knecht H., Pike T. A. & White R. (eds), *Before Lascaux, the Complex Record of the Early Upper Paleolithic*. CRC Press, Chapter 6 : 71-84.
- Delpech F. 2005. Utilité et utilisation de la biostratigraphie en archéologie préhistorique. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 102(4) : 749-755.  
doi : <https://doi.org/10.3406/bspf.2005.13178>
- Delpech F., Grayson D.K. & Rigaud J.-P. 2000. Biostratigraphie et paléoenvironnements du début du Würm récent d'après les grands mammifères de l'Abri du Flageolet I (Dordogne, France). *Paléo*, 12 : 97-126.
- D'Errico F., Sanchez Goñi M.-F. & Vanhaeren M. 2006. L'impact de la variabilité climatique rapide des OIS3-2 sur le peuplement de l'Europe. In: Bard E. (dir.), *L'Homme face au climat*, Odile Jacob, Paris : 265-282.
- Ducasse S., Pétilion J.-M. & Renard C. 2014. Le cadre radiométrique de la séquence solutréo-badegoulienne du Cuzoul de Vers (Lot, France) : lecture critique et compléments, *Paléo*, 25 : 37-58.
- Ducasse S., Renard C., Constans G., Villeneuve Q. & Mourre V. 2024. Des chasseurs en embuscade ? Les témoins de la présence humaine autour de l'Igue du Gral : caractérisation



- des vestiges lithiques «piégés» par l'aven et hypothèses d'introduction. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 475-488.
- Jeannet M. 2024. La microfaune de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 437-449.
- Lacrampe-Cuyaubère F. 1996. *Profils et plans de répartition de vestiges archéologiques: techniques de construction et d'analyse avec Data Desk (version 5.0 pour Macintosh)*. Mémoire de D.E.A. d'Anthropologie, option Préhistoire, Université de Bordeaux I, 73 pp.
- Lacrampe-Cuyaubère F. 1997. Utilisation du logiciel Data DeskTM pour la construction de projections de vestiges archéologiques: une application automatisée à l'usage des préhistoriens. *Paléo*, 9: 335-349.  
doi: <https://doi.org/10.3406/pal.1997.1240>
- Longin R. 1971. New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature*, 230: 241-242.
- Mallye J.-B. & Pelletier M. 2024. Les léporidés et les petits carnivores de l'Igue du Gral. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 353-415.
- Reimer P.J., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R.W., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A. & Talamo S. 2020. The Intcal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curves (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4): 725-757.
- Robert B. 2010. *Analyse faunique et taphonomique du secteur arrière de l'Igue du Gral: Apport à la connaissance paléontologique et géologique du remplissage*. Université de Bordeaux I, Mémoire de Master 2.
- Scott E. M., Cook G. T. & Naysmith P. 2010. The Fifth International Radiocarbon Intercomparison (VIRI): an assessment of laboratory performance in stage 3. *Radiocarbon*, 52(2-3): 859-865.
- Sitzia L. 2024. Etude préliminaire du remplissage sédimentaire de l'Igue du Gral et implications pour l'accumulation des restes fauniques. In: Castel J.-C. & Boudadi-Maligne M. (dir.), L'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot): histoire d'un piège naturel au Pléistocène supérieur. *Revue de Paléobiologie*, 43(2): 87-105.
- Stuart A. J. & Lister A. M. 2014. New radiocarbon evidence on the extirpation of the spotted hyaena [*Crocota crocuta* (Erxl.)] in northern Eurasia. *Quaternary Science Reviews*, 96: 108-116.
- Texier J.-P. 2000. A propos des processus de formation des sites préhistoriques. *Paléo*, 12: 379-386.  
doi: <https://doi.org/10.3406/pal.2000.1610>