

**BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ
FRIBOURGEOISE
DES SCIENCES NATURELLES**

**BULLETIN DER NATURFORSCHENDEN
GESELLSCHAFT FREIBURG**

Contenu / Inhalt Vol. 99 (2010)

HANSRUEDI VÖLKLE: Rapport annuel du Président pour l'année 2009	6
ANDRÉ FASEL: Musée d'histoire naturelle de Fribourg: Rapport annuel pour 2009	12
JACQUES ESCHMANN: Pro Natura Fribourg Rapport annuel 2009:	18
JACQUES ESCHMANN: Pro Natura Fribourg Jahresbericht 2009:	22
HANSRUEDI VÖLKLE: Vortragszyklus 2009 - Programme des conférences 2009.....	26
HUBERT SCHNEUWLY: Les sciences et les vérités : (ou ce que je suis) Leçon d'adieu du 3 décembre 2009	31
HUBERT SCHNEUWLY: Einstein, comment a-t-il pu faire sa Relativité juste avant l'an 2005 ?	45
HUBERT SCHNEUWLY: Anniversaire des 50 ans du diplôme de physique	64
HUBERT SCHNEUWLY: Annexe: Mes souvenirs de l'époque	82
YVES COCHARD: Conflit d'intérêts entre préservation de la nature et intérêt privé : Le cas de la chapelle de Rathvel s/Châtel-St-Denis	86
SÉBASTIEN MORARD: La glacière des Diablotins: Evolution rapide d'une masse de glace souterraine au cœur des Préalpes fribourgeoises	99
CHRYSTEL FELLER, CHRISTIAN MAZZA et FLORENCE YERLY: Plantes, spirales et nombres - Les plantes font-elles des maths ?	122
./..	

HUGO LEHMANN: Elektromagnetische Felder in der Umwelt: Risiko oder Nutzen ?	138
MICHEL BLANT, HERVÉ BOCHERENS, MARTIN BOCHUD, LUC BRAILLARD, MONICA CONSTANDACHE, JEAN-MARC JUTZET: Le gisement à faune würmienne du Bärenloch (Préalpes fribourgeoises, Suisse)	149
BENOÎT MAGNIN: Les ossements de chiroptères de la grotte du Bärenloch (Charmey, Préalpes fribourgeoises)	171
BENOÎT MAGNIN: Les ossements de mammifères terrestres de la grotte du Bärenloch (Charmey, Préalpes fribourgeoises)	181
<i>Nouveaux Livres – Neue Bücher:</i>	187
EMANUEL GERBER, GREGOR KOZLOWSKI et ANNE-SYLVIE MARIÉTHOZ: « Flore des Préalpes » (Rossolis, Bussigny & Haupt Verlag, Bern)	187
THIBAUT LACHAT et al: « Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900 - Ist die Talsohle erreicht ? » (Haupt Verlag, Bern)	192
Deklaration von Villars-sur-Glâne zur Biodiversität von 8./9.11.2010 (Jahrestagung 2010, Forum Biodiversität der ScNat)	193
Liste des Membres de la Société.....	195

ACADEMIC PRESS FRIBOURG 2011 - ISSN 0366-3256

Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. – Vol. 99 (2010) 2

Le gisement à faune würmienne du Bärenloch (Préalpes fribourgeoises, Suisse)

MICHEL BLANT¹, HERVÉ BOCHERENS², MARTIN BOCHUD^{3,4}, LUC BRAILLARD³,
MONICA CONSTANDACHE³, JEAN-MARC JUTZET⁴

¹ Institut suisse de spéléologie et de karstologie, cp 818, CH-2300 La Chaux-de-Fonds
(michel.blant@isska.ch)

² Fachbereich Geowissenschaften, Forschungsbereich Paläobiologie – Biogeologie,
Universität Tübingen, Sigwartstr. 10, D-72076 Tübingen

³ Institut de Géologie, Département de Géosciences, Université de Fribourg, Pérolles,
CH-1700 Fribourg

⁴ Spéléo-Club des Préalpes fribourgeoises, CH-1700 Fribourg

Résumé

L'ours des cavernes (Ursus spelaeus) est l'espèce dominante du gisement d'ossements pléistocènes du Bärenloch (Préalpes fribourgeoises), daté de >47'000 à 28'000 cal BP. Les restes osseux ont été trouvés dans la grotte et à l'entrée de celle-ci, dans un pierrier. L'ancienne tanière à ours a servi de lieu d'hibernation et de mise bas. Le lion des cavernes, l'ours brun, le loup et le bouquetin sont – entre autres – les espèces compagnes du peuplement identifié. Une analyse morphodynamique de l'évolution de la dentition (degré de complexité des prémolaires et molaires) rattache les ours à une sous-espèce alpine de petite taille. Des analyses isotopiques montrent une alimentation herbivore ($\delta^{15}\text{N}$ inférieur aux carnivores) dans un environnement plutôt boisé (valeurs négatives du $\delta^{13}\text{C}$). La population d'ours du Bärenloch s'est éteinte lors du refroidissement vers 27'800 cal BP, qui précédait le dernier maximum glaciaire (LGM).

Zusammenfassung

Der Höhlenbär (Ursus spelaeus) ist die dominante Art des pleistozänen Knochenfundes des Bärenloches (freiburger Voralpen), datiert auf >47000 bis 28000 cal BP. Die Knochenreste wurden in der Höhle und deren Eingang, in einem Steinschlag, gefunden. Das alte Bärenschlupfloch wurde zur Überwinterung und Gebärstätte gebraucht. Der Höhlenlöwe, der Braunbär, der Wolf und der Steinbock sind – unter anderem – die Begleitarten der identifizierten Population. Eine morphodynamische Analyse der Zahnentwicklung (Komplexgrad der vorderen Vormahlzähne und Backenzähne) teilt den Bären in eine alpine Unterart von kleiner Grösse ein. Isotopische Analysen zeigen eine pflanzenfressende Ernährung ($\delta^{15}\text{N}$ kleiner als bei Fleischfresser) in einem eher bewaldeten Umfeld (negative Werte des $\delta^{13}\text{C}$). Die Bärenpopulation des Bärenlochs ist während der Kaltperiode um 27'800 cal BP ausgestorben, vor dem Höchststand der letzten Vergletscherung (LGM).

Summary

Cave Bear (Ursus spelaeus) is the dominant species in Pleistocene bones deposits of the Bärenloch cave in Préalpes fribourgeoises. Bones are dated between 47kyr to 28kyr cal BP. They were discovered both at the entrance and inside the cave. The Bärenloch cave was certainly an hibernation and a birthing den for cave bears. Cave Lion, brown bear, wolf, ibex and others were also identified in the Pleistocene fauna of the site. A morphodynamic analysis from bear teething evolution (complexity degree of molars and premolars) links the Bärenloch cave bear to a small sized alpine subspecies. Isotopic analyses emphasize an herbivore diet ($\delta^{15}\text{N}$ lower than carnivore diet) in a rather wooded environment (negative value of $\delta^{13}\text{C}$). The cave bear population of Bärenloch became extinct during the cooling period at 27.8 kyr cal BP preceeding the Last Glacial Maximum (LGM).

Introduction

La grotte du Bärenloch (commune de Charmey, alt. 1645 m) a été découverte en 1991 par des membres du Spéléo-Club des Préalpes fribourgeoises, au pied d'une falaise du versant nord de la Spitzflue. Explorée dès 1995, elle a livré de nombreux restes de la faune pléistocène et holocène. La grotte se développe à partir d'une faille sur 260 mètres de longueur, et est composée de plusieurs puits successifs jusqu'à une profondeur de 72 mètres. Dès 2003, la grotte a fait l'objet de fouilles plus détaillées, qui ont mis à jour un véritable gisement d'ossements à l'entrée même de la cavité (BLANT et al. 2004, BOCHUD et al. 2007). Une première étape d'étude s'est terminée en 2008, avec des sondages en profondeur dans le gisement jusqu'à -140 cm et une analyse préliminaire du peuplement faunique présent (BLANT et al. 2008). Un travail de master réalisé au département de Géosciences de l'Université de Fribourg (CONSTANDACHE 2009) a permis d'affiner l'approche descriptive et analytique de la population d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), qui représente le 78.8 % du matériel récolté. L'étude a porté – entre autres – sur la caractérisation structurelle de la population et sur une analyse morphodynamique visant à déterminer le groupe morphogénétique auquel appartiennent les ours du Bärenloch.

Le présent article développe ces nouveaux résultats sur la population d'ours des cavernes, tout en rappelant brièvement le contexte des découvertes, les méthodes utilisées et la composition du peuplement pléistocène déterminé dans son ensemble. Une description géologique et historique détaillée ayant déjà été publiée, elle ne sera pas rappelée ici (BOCHUD et al. 2007). Des

résultats concernant la faune holocène découverte dans la cavité font l'objet de publications séparées dans ce même fascicule (MAGNIN 2010 a, b).

Malgré le tamisage de plusieurs échantillons, aucun artefact d'origine humaine n'a été récolté au Bärenloch. Les premières traces de colonisation humaine de la région sont postglaciaires et remontent au Mésolithique dans la vallée des Euschels adjacente (BRAILLARD et al. 2003, MAUVILLY et al. 2006).

Contexte

Les ossements ont été découverts tout d'abord dans la grotte, dans les salles au pied des premiers puits et dans les couloirs descendants jusqu'à la plus grande profondeur actuellement atteinte. Mélangés aux sédiments, transportés par l'eau et coincés dans une fissure, ou pris dans la calcite, ils se trouvent en abondance dans la partie haute, puis sont plus disséminés en profondeur. La grotte, formée de puits successifs, a fonctionné comme un piège pour plusieurs ours, qui se sont aventurés ou sont tombés accidentellement au fond du premier puits. L'abondance des restes osseux dans la partie proche de la surface provient en fait d'un formidable gisement situé devant l'entrée actuelle de la grotte, incorporé au pierrier situé au pied de la falaise (photo 1, page suivante). Les ossements s'y sont accumulés et mélangés aux cailloux de diverses dimensions, sur une dizaine de mètres carrés et plus d'un mètre d'épaisseur. Ce gisement constitue le reliquat du sol de la cavité qui abritait autrefois les ours. Entraîné par le ruissellement et la gravité, une partie du matériel a gagné la grotte au travers de la faille principale ou de fissures adjacentes.



Photo 1: Le versant nord de la Spitzflue. La grotte s'ouvre au pied de la falaise qui descend vers l'est sous l'arête nord (photo Michel Blant, ISSKA).

Matériel et méthode

Fouilles

La récolte du matériel dans la grotte s'est effectuée par prélèvement des ossements visibles en surface et par sondages. La récolte du matériel dans le pierrier s'est faite par décapage de tranches de 20 cm d'épaisseur environ, sur une largeur de 50 cm, pour un front de taille de 3 mètres. Une surface plane a été obtenue par la fouille d'un premier volume de sédiments distant de 3 à 4 mètres de l'entrée, d'une épaisseur de 80 cm, permettant ensuite la fouille d'un second volume distant de 2 à 3 mètres de l'entrée, d'une épaisseur de 140 cm. La surface finale fouillée à fin 2009 totalise donc 6 m² environ, limitée du côté ouest par la roche en place et du côté est par deux carrés témoins non fouillés. En-dessous de 140 cm, la couche argileuse ossifère se poursuit jusqu'à la roche en place, qui n'est pas encore atteinte.

Tous les échantillons provenant de la grotte ont été lavés et triés sur un tamis à mailles de 1 mm. Dans le pierrier, le matériel extrait a été en grande partie trié sur place avec le prélèvement des os visibles, le rejet des cailloux jusqu'à

1-2 cm et le tamisage de la fraction restante sur un tamis à mailles de 1 cm. Il était illusoire d'utiliser un tamis plus fin en raison de la teneur argileuse du sol. Cependant, plusieurs échantillons des couches argileuses profondes ont été transportés et lavés sur un tamis à mailles de 1 mm.

Préparation

Les ossements lavés ont été séchés le plus souvent en cave, à une température de 5-10 °C. Plusieurs échantillons ont été durcis dans des bains d'Ostéofix, puis traités dans l'installation de séchage contrôlé du service archéologique de l'Etat de Fribourg. Il s'agit principalement des ossements utilisés à des fins d'exposition.

Identification

L'identification du matériel récolté a été réalisée en utilisant l'atlas de SCHMID (1972). Au besoin, les pièces ont été contrôlées avec la collection de comparaison de l'office et musée d'archéologie du canton de Neuchâtel. Pour les ursidés, les descriptions, dessins et données ostéométriques de SCHWEIZER (1999) ont été utilisées pour séparer l'ours des cavernes de l'ours brun.

Ostéométrie

Les ossements entiers, les épyphyses intactes et les dents ont été mesurés au pied à coulisse avec une précision de 0.1 mm, selon les dimensions données par SCHWEIZER (1999). Les plus grandes longueurs (> 15 cm) ont été mesurées avec une précision de 1.0 mm.

Datations ¹⁴C

Les datations radiocarbone AMS (Accelerated Mass Spectrometry) ont été effectuées à l'Institut de physique des particules de l'école polytechnique fédérale (ETH) de Zürich pour 1 échantillon et à l'Université d'Uppsala (Angström Laboratory) pour 8 échantillons. Une analyse (réplication) a été réalisée à l'Université de Vienne (Vienna Environmental Research Acc.).

Analyse morphodynamique

L'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) dérive d'une lignée plus ancienne, l'ours de Deninger (*Ursus deningeri*) (KURTÉN 1976). Différentes lignées morphogénétiques ont cependant été mises en évidence chez *spelaeus*, dont une appelée « Hochalpine Kleinform » - une forme de plus petite taille

présente dans les Alpes (RABEDER 2000, RABEDER et al. 2008). RABEDER (1999) a proposé le calcul d'un indice morphodynamique, permettant de caractériser le degré d'évolution dentaire d'un spécimen, soit sur les prémolaires supérieure et inférieure (P^4 , P_4) soit sur la seconde molaire inférieure (M_2). L'indice se base sur la complexité de la table dentaire, c'est-à-dire sur le nombre de cuspides (ou pointes) qu'elle recèle. L'indice est calculé ensuite sur la base de nombre relatif de chaque morphotype présent (pour les détails, voir RABEDER 1999, 2000, RABEDER et al. 2004).

Analyses isotopiques

Les ours des cavernes du Bärenloch ont été analysés sur leur contenu isotopique, avec l'adjonction de deux espèces de référence de régime alimentaire connu : un carnivore, le loup, et un herbivore, le bouquetin.

L'alimentation de ces espèces comprend une matière organique formée de différents éléments chimiques, dont le carbone (^{12}C) et l'azote (^{14}N). Ces éléments possèdent des isotopes stables qui diffèrent de l'élément majoritaire par une ou plusieurs particules supplémentaires. Par exemple, le carbone 13 (^{13}C) et l'azote 15 (^{15}N) possèdent tous deux un neutron supplémentaire. Ces isotopes se trouvent dans la nature à raison de 0 à 1 % seulement. Différents types de plantes possèdent des proportions différentes de carbone 13 ($\delta^{13}\text{C}$), selon leur milieu. Les plantes des milieux froids et arides en possèdent une quantité relativement élevée (p. ex. lichens), à l'inverse de celles des milieux forestiers humides. Les valeurs les plus négatives pour cet isotope suggèrent donc un habitat forestier (DRUCKER et al. 2008). Les proportions d'azote 15 ($\delta^{15}\text{N}$) représentent une valeur liée à l'abondance des protéines animales, donc représentative de la place dans la chaîne trophique. Ces différences présentes dans la diète alimentaire se retrouvent ensuite dans la « signature isotopique » du collagène des ossements (BOCHERENS et al. 1994).

D'autres paramètres peuvent influencer aussi ces proportions d'isotopes. Ainsi, les graisses métabolisées pendant l'hibernation présentent des abondances de carbone 13 très basses. Les jeunes mammifères consommant le lait de leur mère sont sujets à un enrichissement de leur teneur en azote 15 (BOCHERENS et al. 1994).

Les analyses ont été réalisées au département de Géosciences (Domaine de recherche Paléobiologie, Prof. H. Bocherens) de l'Université de Tübingen (Allemagne).

Résultats

Au total, 134.4 kg d'ossements, récoltés lors d'une dizaine d'expéditions réalisées entre 2003 et 2008, ont été analysés. Le nombre de pièces identifiées s'établit actuellement à près de 1500 (tableau 1).

La grotte contenait des squelettes complets ou partiels d'au moins 8 ours adultes (photo 2, ci-dessous) et juvéniles, ainsi que d'un loup. Pour les autres espèces, il s'agit d'ossements isolés disséminés soit dans la cavité soit dans le pierrier (photo 3).



Photo 2: Squelette d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) dans la grotte, au fond d'un méandre infranchissable (photo Rémy Wenger, ISSKA).



Photo 3: Epiphyse distale d'un fémur droit d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), en place dans le pierrier (photo Rémy Wenger, ISSKA).

Le peuplement faunique pléistocène

Le gisement du Bärenloch a révélé la présence, outre de l'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), de plusieurs autres animaux contemporains de cette époque vivant dans la région (tableau 1). On y a trouvé des restes de lion des cavernes (*Panthera leo spelea*), d'ours brun (*Ursus arctos*) et de loup (*Canis lupus*), ainsi que de bouquetin (*Capra ibex*) et de marmotte (*Marmota marmota*), pour les mammifères les plus significatifs, ainsi que d'un oiseau, le chocard à bec jaune (*Pyrrhocorax gracculus*).

Tableau 1: Présence des espèces dans les deux secteurs du gisement, la cavité et le pierrier devant l'entrée. Les colonnes indiquent le nombre d'os identifiés par espèce, leur proportion relative dans le peuplement, la présence dans l'un ou l'autre des secteurs et l'époque constatée ou évaluée d'après les datations radiocarbone. Pour la grotte, chiroptères et micromammifères ne sont pas inclus dans ce tableau, car faisant l'objet d'une analyse séparée (MAGNIN 2010 a, b).

	Taxons	N fin 2009	%	Grotte	Pierrier	Epoque
1	<i>Ursus spelaeus</i>	554	36.96	x	x	Pléistocène
2	<i>Ursus cf. spelaeus</i>	629	41.96	x	x	Pléistocène
3	<i>Ursus spec.</i>	149	9.94	x	x	Pléistocène
4	<i>Ursus arctos</i>	31	2.07	x	x	Pléistocène
5	<i>Ursus cf. arctos</i>	8	0.53	x	x	Pléistocène
6	<i>Panthera leo spelea</i>	10	0.67	x	x	Pléistocène
7	<i>Canis lupus</i>	41	2.74	x	x	Pléistocène
8	<i>Capra ibex</i>	6	0.40	x	x	Pléistocène
9	<i>Rupicapra rupicapra</i>	3	0.20	x	x	Pléistocène, Holocène ?
10	<i>Capra/Ovis sp.</i>	3	0.20	x		Holocène
11	<i>Martes foina</i>	3	0.20	x	x	Pléistocène
12	<i>Martes sp.</i>	5	0.33		x	Pléistocène
13	<i>Vulpes vulpes</i>	8	0.53	x	x	Pléistocène, Holocène ?
14	<i>Canidé sp.</i>	5	0.33	x	x	Pléistocène, Holocène ?
15	<i>Marmota marmota</i>	33	2.20	x	x	Pléistocène
16	<i>Lepus timidus</i>	1	0.07	x		Holocène
17	<i>Lepus/Marmota</i>	1	0.07		x	Pléistocène
18	<i>Talpa europaea</i>	4	0.27		x	Pléistocène
19	<i>Microtus sp.</i>	1	0.07		x	Pléistocène, Holocène ?
20	<i>Arvicola terrestris</i>	1	0.07		x	Pléistocène, Holocène ?
21	<i>Micromammalia sp.</i>	1	0.07		x	Pléistocène
22	<i>Pyrrhocorax cf. gracculus</i>	2	0.13	x		Pléistocène
	TOTAL	1499	100.00			

Toutes ces espèces font partie du peuplement faunique glaciaire (Würm récent), dont on retrouve plusieurs représentants dans la faune alpine actuelle. Seul le lièvre variable, dont un seul os d'apparence récente a été trouvé près de l'entrée au pied d'un premier puits peu profond, n'y appartient probablement pas, bien que cette espèce soit aussi typique des périodes froides pléistocènes. Quelques petits mammifères devaient également être présents au Bärenloch à cette époque, comme par exemple la taupe (*Talpa europaea*), dont des ossements semi-fossilisés ont été trouvés dans le gisement. Des chiroptères trouvés dans la cavité ont par contre été datés de l'Holocène (BLANT et al. 2010). Ces taxons plus récents (rongeurs, insectivores et chiroptères) sont traités dans un chapitre séparé (MAGNIN 2010 a, b).

La plupart de ces animaux ont vécu aux environs du site, l'ayant utilisé temporairement comme abri (ours, ongulés) ou l'ayant visité à la recherche d'une proie ou de carcasses (carnivores, corvidés), tombant parfois accidentellement dans le premier puits (loup). Certains ont pu y être apportés en tant que proie (marmotte).

Plusieurs datations radiocarbone AMS ont été effectuées sur les ossements du Bärenloch (tableau 2). Les résultats obtenus montrent que les ours ont vécu au Bärenloch de > 46'900 BP (VERA-5192, inédit) à au moins 24'175 ± 365 BP (Ua-24796, BOCHUD et al. 2007). Le loup a quant à lui été daté à 39'465 ± 2370 BP (Ua-24797, BOCHUD et al. 2007).

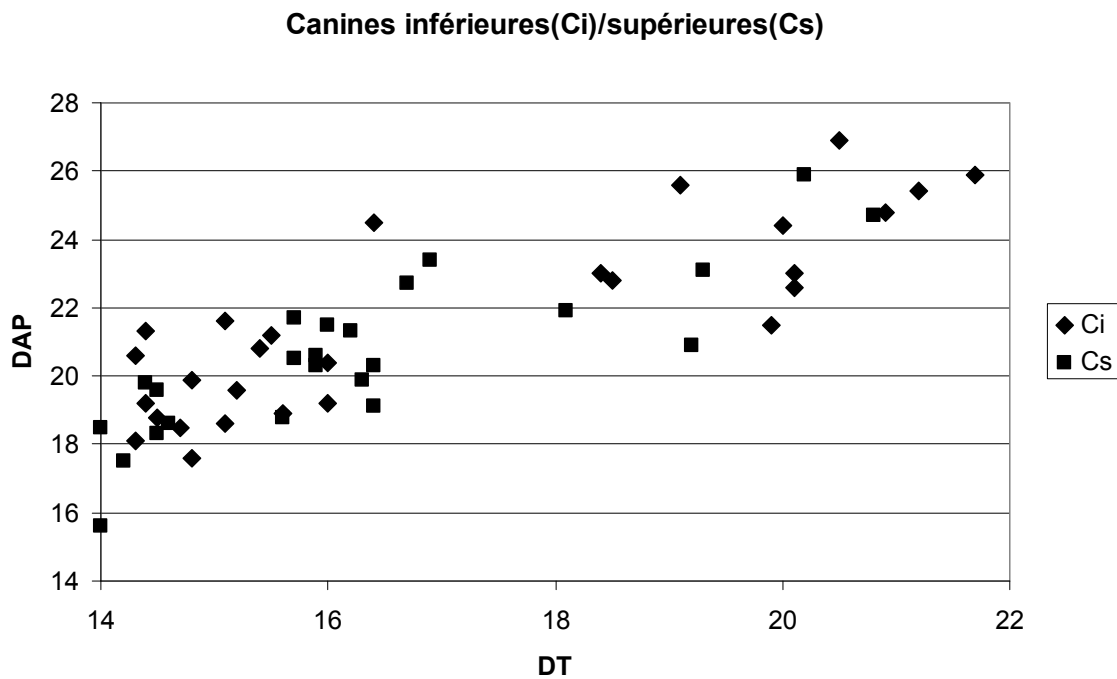
Tableau 2: Datations radiocarbone (^{14}C) réalisées au Bärenloch. Une date de 17'385 ± 155 BP (Ua-32592), douteuse en raison de son insertion en plein pléniglaciaire, résulte d'une contamination probable par du carbone récent. Une réplication de l'analyse sur la même pièce osseuse a donné la date de > 46'900 BP (VERA-5192).

Espèce	Age ^{14}C BP	Age BP calibré	N° Labo	Localisation
<i>Ursus spelaeus</i>	26'520±240	31'361-30'699	ETH-27423	Grotte, Salle des Ours
<i>Ursus spelaeus</i>	28'415±605	34'244-31'513	Ua-24794	Fouille pierrier -0.40 m
<i>Ursus spelaeus</i>	33'460±1135	40'983-36'202	Ua-24795	Fouille pierrier -1.20 m
<i>Ursus spelaeus</i>	24'175±365	29'672-28'095	Ua-24796	Grotte, OURS 1
<i>Canis lupus</i>	39'465±2370	45'682-39'034	Ua-24797	Grotte, Salle du Loup
<i>Ursus spelaeus</i>	30'765±810	36'830-33'475	Ua-24798	Grotte, Salle des Ours, sondage -40 cm
<i>Ursus spelaeus</i>	26'745±490	31'980-30'368	Ua-32591	Grotte, OURS 2
<i>Ursus spelaeus</i>	40'070±765	45'150-42'842	Ua-32593	Fouille pierrier -1.40 m
<i>Ursus spelaeus</i>	> 46900	> 48'500	VERA-5192	Grotte, Salle du Loup, base du puits

La population d'ours des cavernes

La fréquence des sexes a été calculée sur la base du diamètre transverse au collet (DTc) des canines supérieures et des canines inférieures d'ours (CONSTANDACHE 2009). Le ratio vaut environ 1 mâle pour 3 femelles en considérant la canine supérieure (n = 29), un mâle pour 1.5 femelles en considérant la canine inférieure (n = 27). La figure 1 montre bien la séparation des sexes d'après les dimensions des dents. La distinction entre canines inférieures et supérieures trouvées isolément a été faite en fonction de l'angle de la pointe émailée, plus prononcé par rapport à l'axe de la racine pour les canines inférieures.

Figure 1: Répartition des dimensions mesurées sur les canines d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) du Bärenloch. Mesure des diamètres au collet (DT = diamètre transverse, DAP = diamètre antéro-postérieur, mesures en mm). Les femelles sont groupées dans la moitié gauche du graphique, les mâles dans la moitié droite.



Huit canines de lait (Cd) et une prémolaire supérieure (Pd⁴) ont été identifiées dans le matériel dentaire. Un rapport entre adultes et juvéniles calculé sur la base des canines (n = 67) est de 7.4 adultes pour 1 juvénile (CONSTANDACHE 2009).

Analyse morphodynamique

Les résultats des calculs des indices morphodynamiques sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3: Résultats des indices morphodynamiques. Le calcul détaillé des indices (nombre de chaque morphotype, standardisation) est donné dans le travail de CONSTANDACHE (2009).

Indice	Résultat	Interprétation (type le plus proche)
Index P^4 (standardisé)	41.3	<i>U. spelaeus eremus</i> ou <i>U. s. ladinicus</i>
Index P_4 (standardisé)	67.4	<i>U. spelaeus eremus</i> ou <i>U. s. ladinicus</i>
Index $P^4/4$ (standardisé)	52.76	<i>U. spelaeus eremus</i> ou <i>U. s. ladinicus</i>
Index M_2 enthyoconide (standardisé)	99.5	<i>U. spelaeus eremus</i> ou <i>U. ingressus</i>

Un résultat déterminant est donné par les valeurs d'index $P^4/4$ et enthyoconide M_2 (photo 4, ci dessous). Le croisement du couple de valeurs sur un plan graphique suggère une attribution probable au groupe de la sous-espèce *Ursus spelaeus eremus*, par comparaison aux résultats obtenus dans d'autres grottes alpines (RABEDER & HOFREITER 2004).

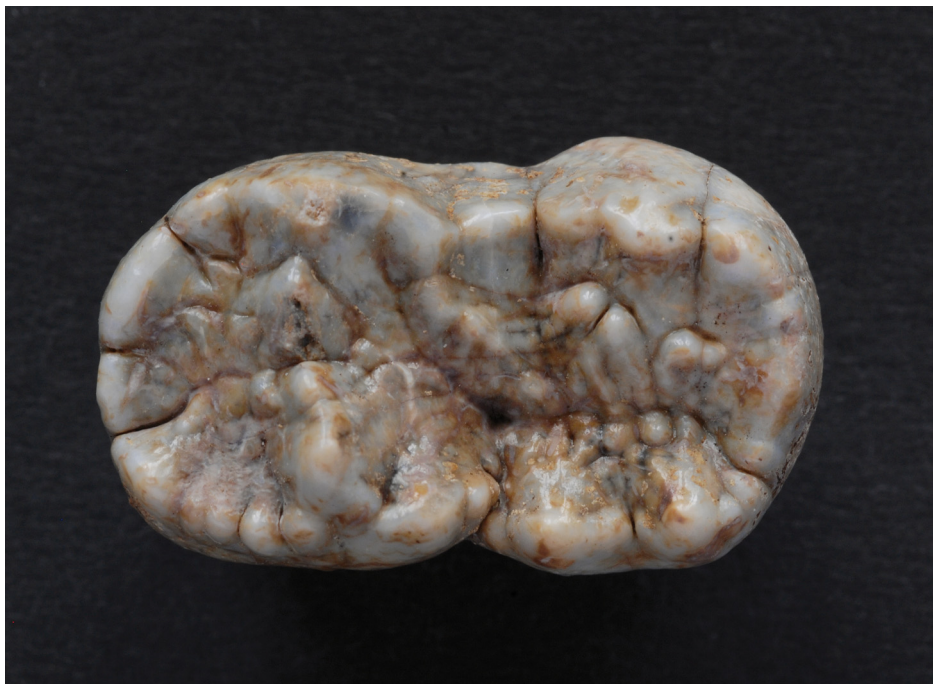
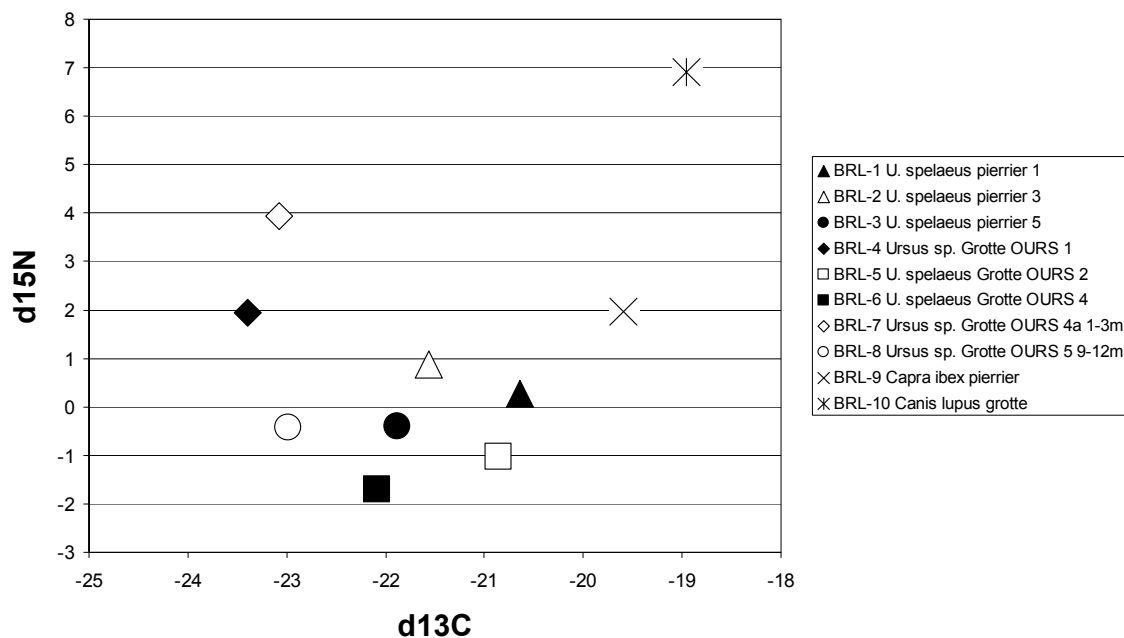


Photo 4: Un stade évolué (morphotype D pour l'enthyoconide M_2) de la deuxième molaire inférieure d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), présentant une surface masticatoire complexe (photo Rémy Wenger, ISSKA).

Analyses isotopiques

La figure 2 représente les teneurs en isotopes obtenues pour les différents échantillons analysés. En visualisant sur un même graphique les teneurs en carbone 13 et azote 15, on peut voir la position trophique des individus (de végétarien à carnivore, selon l'abondance du $\delta^{15}\text{N}$) et le degré d'ouverture du milieu (de steppique à boisé dense, selon l'abondance du $\delta^{13}\text{C}$).

Figure 2: Teneur en carbone 13 et azote 15 du collagène des ossements des ours des cavernes (*Ursus spelaeus*), du loup (*Canis lupus*) et du bouquetin (*Capra ibex*) du Bärenloch. Echelles en pour mille. Les ours BRL-7 et BRL-8 sont juvéniles (âgés de 1 à 3 mois, 12 mois respectivement). Couches du pierrier 1 = -20 à -80 cm, 3 = -100 à -120 cm et 5 = -140 à -150 cm. La désignation des ours dans la grotte désigne des squelettes complets (localisation voir BOCHUD et al. 2007).



Avec un $\delta^{15}\text{N}$ compris entre -2 et 2 pour mille, les ours analysés se situent bien à un niveau trophique herbivore, comme le bouquetin. Avec un $\delta^{15}\text{N}$ de 4, l'ours juvénile est caractérisé par un régime alimentaire lacté. Le loup obtient un $\delta^{15}\text{N}$ de 7, ce qui caractérise un carnivore, au sommet de l'échelle trophique.

Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ sont assez négatives (de -19 à -24 pour mille). Les valeurs des ours (entre -20.5 et -24) situent une diète issue probablement

d'une végétation de type arborée arbustive, celle du bouquetin (-19.5) une diète plutôt herbacée.

Discussion

Le peuplement pléistocène

La grotte a constitué un habitat d'hibernation pour l'ours des cavernes, comme en témoigne une analyse chimique des sédiments (taux de phosphates élevé dû aux carcasses des ours). Les restes de plusieurs individus juvéniles indiquent qu'elle a servi de lieu de mise bas. L'ours brun y a été également présent, mais plus rarement, entre 3 et 6.9 % des restes selon les pièces utilisées pour séparer les deux espèces (BLANT et al. 2008).

Le peuplement faunique würmien du Bärenloch met en scène d'autres animaux disparus. Tout comme l'ours des cavernes, le lion des cavernes s'est éteint lors de la dernière grande glaciation, vraisemblablement au Tardiglaciaire (STUART & LISTER 2010) pour les derniers individus de cette espèce de grand félin autrefois présente dans toute l'Europe depuis le Pléistocène moyen (ARGANT et al. 2008). Seule la lignée moderne du lion, non spéléenne, de plus petite taille, a investi ensuite à l'Holocène certaines parties de l'Europe centrale et du Sud (SOMMER & BENECKE 2006, STUART & LISTER 2010).

Le Bärenloch révèle aussi la présence d'espèces disparues plus tardivement de cette région des Préalpes. L'ours brun et le loup en ont été éradiqués au XIX^e siècle par l'homme, désireux de protéger ses troupeaux ovins. La marmotte n'est plus présente actuellement sur le site même du Bärenloch, de même que le bouquetin et le chocard à bec jaune, trois espèces dont l'habitat se trouve maintenant à une altitude plus élevée de plusieurs centaines de mètres. Loin d'être anodins, ces faits sont révélateurs des modifications environnementales et climatiques.

Le gisement du Bärenloch est le premier site à faune würmienne découvert dans le canton de Fribourg. On en connaît trois dans le canton de Berne, trois dans les Préalpes vaudoises et trois dans le canton du Valais (ANDRIST et al. 1964, EGLOFF 1971, SCHWEIZER 2000, 2003, PRAZ et al. 2000, BRAILLARD et al. 2004). Les datations effectuées au ¹⁴C sur des ossements d'ours permettent de le situer entre >50'000 et 28'000 ans avant le présent [dates calibrées]. Ces découvertes font du Bärenloch – seul gisement daté aussi exhaustivement au ¹⁴C pour la faune ! – un des sites à ours des cavernes les plus importants des

Préalpes suisses occidentales pour cette période du Würm récent, les sites alpins helvétiques étant jusqu'à présent évalués comme plus anciens, entre 135'000 et 70'000 ans (SCHWEIZER, 2002). Du point de vue du paléo-environnement, ces données montrent que la région a été libre de glace, vraisemblablement à plusieurs reprises, durant les interstades tempérés du Würm récent.

Le nombre minimum d'individus récoltés est important (NMI = 24, CONSTANDACHE 2009). En tenant compte du fait que le gisement n'a été que très partiellement fouillé, on peut estimer le nombre d'animaux ayant fréquenté le site entre 200 et 400 individus au moins, sur une période d'un peu plus de 20'000 ans.

Analyse morphodynamique

Les indices morphodynamiques calculés ramènent l'ours de cavernes du Bärenloch à une forme dont le degré d'évolution est moyen, par rapport aux formes plus anciennes peu évoluées ou aux formes très évoluées, qui présentent une dentition très complexe. Ce degré d'évolution est similaire à celui des ours provenant de la grotte de Ramesch (Autriche) calculés par RABEDER (1999).

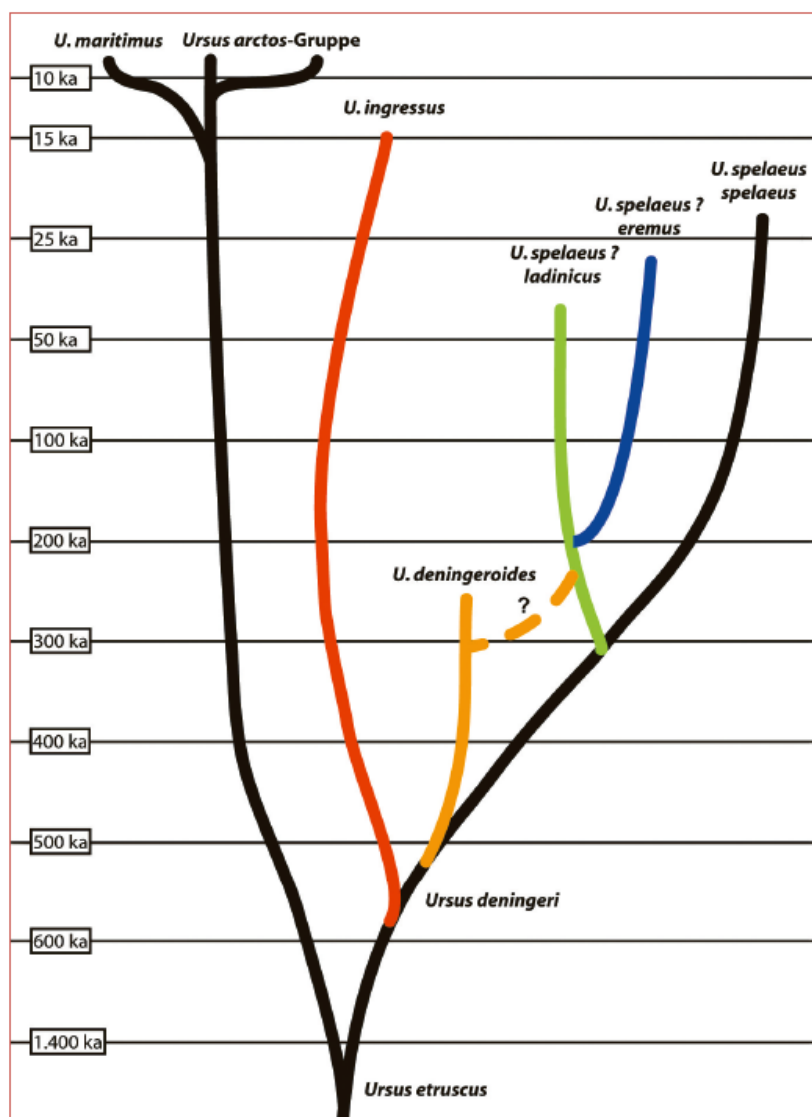
Si l'on considère les valeurs d'index $P^{4/4}$ et enthyponide M_2 , les ours des cavernes du Bärenloch paraissent appartenir à la branche de la sous-espèce *Ursus spelaeus eremus* décrite par RABEDER et al. (2004) (figure 3). Il s'agit d'une forme réagissant à l'altitude par une diminution de taille, la « Hochalpine Kleinform » (RABEDER 2000), forme « naine » d'ours des cavernes suggérée déjà par EHRENBERG (1929). Ce « nanisme alpin » est interprété comme une réponse adaptative à l'altitude (RABEDER et al. 2008). Cette petite forme (photo 5, page suivante) se distingue nettement de l'ours des cavernes de grande taille (*Ursus spelaeus spelaeus*), présent hors de l'arc alpin (p. ex. Allemagne, France). La distinction entre ces morphotypes est corrélée par des analyses génétiques (paléo-ADN), selon le travail de RABEDER & HOFREITER (2004). En Suisse, les ours des cavernes de la Chilchlihöhle et du Ranggiloch sont rattachés à la sous-espèce *Ursus spelaeus ladinicus* (RABEDER & HOFREITER 2004). Cette dernière présente également une corrélation inverse entre la taille et l'altitude. Un classement définitif des ours du Bärenloch devrait donc être vérifié par une analyse génétique. Il est intéressant de constater que les abondances isotopiques des ours des cavernes adultes de Bärenloch sont très similaires à celles des ours

spéléens de la grotte de Ramesch dont ils se rapprochent morphologiquement (BOCHERENS et al., sous presse). Ceci suggère des conditions environnementales similaires pour les deux sites.



Photo 5: Crâne d'ours des cavernes (*Ursus spelaeus*) du Bärenloch, petite taille alpine (*U. s. eremus* ?). Longueur condylo-basale = 37.1 cm, longueur totale = 38.6 cm (photo Michel Beaud, MHNF).

Figure 3: Arbre généalogique des ursidés européens (tiré de RABEDER & HOFREITER 2004).



Niveaux trophiques

Au niveau du $\delta^{15}\text{N}$, tous les ours adultes analysés se trouvent à un niveau inférieur ou égal au bouquetin, signifiant par là que leur régime alimentaire était bien essentiellement herbivore (herbes et fleurs, racines, bourgeons et feuilles, baies, champignons, etc.). Les variations individuelles observées peuvent résulter du type de plante consommé en majorité. Un individu juvénile (âgé de 1 à 3 mois) se situe au-dessus, ce qui est tout à fait normal en raison de l'effet protéique du lait maternel. Le loup, enfin, se situe tout en haut de l'échelle, possédant un fort enrichissement en $\delta^{15}\text{N}$ vu son régime

alimentaire carné. Une répartition similaire des valeurs des signatures isotopiques entre ours des cavernes et carnivores (loups, lions) a été observée pour d'autres sites alpins d'altitude comme la Balme-à-Collomb (France) et Gamssulzen (Autriche) (BOCHERENS et al., sous presse, soumis).

Interprétation paléo-environnementale

La valeur du $\delta^{15}\text{N}$ est également influencée par les conditions climatiques (DRUCKER et al. 2003, BOCHERENS et al. 2005, 2006). Les faibles valeurs obtenues au Bärenloch indiquent un climat en général plutôt froid, avec des sols humides et acides qui ont une activité microbienne diminuée. Cette valeur diminue notamment avec la latitude et l'altitude. Les valeurs obtenues au Bärenloch sont inférieures à celles obtenues p. ex. à la Grotte Chauvet en Ardèche (BOCHERENS et al. 2005), située nettement plus au sud, mais similaires à celles mesurées pour des ours des cavernes de sites alpins d'altitude comparable (BOCHERENS et al., sous presse). Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ sont toutes négatives (de -19 à -24 pour mille), montrant par là un appauvrissement important en carbone 13. Ces valeurs isotopiques révèlent donc une diète issue d'une végétation relativement dense, dans un milieu froid. On peut donc imaginer la présence de nombreux arbrisseaux, plantes en coussins et arbustes nains. La myrtille (*Vaccinium myrtillus*) et l'airelle (*Vaccinium uliginosum*) devaient donc par exemple être bien présentes, et entrer de manière notable dans le régime alimentaire de l'ours. Le milieu fréquenté par les ours était donc plus embuissonné que les prairies et pelouses fréquentées par les ongulés de l'époque (Bison, cheval, renne), dont les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ (DRUCKER et al. 2003) rejoignent celles du bouquetin du Bärenloch. Chez l'ours brun (*Ursus arctos*) holocène, les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ s'abaissent aussi avec la restauration du couvert forestier entre le Tardiglaciaire et l'Holocène ancien (DÖPPES et al. 2008).

L'ours des cavernes daté à $24'175 \pm 365$ ans BP (29'672-28'095 cal. BP), soit le plus récent du lot, possède le $\delta^{13}\text{C}$ le plus bas et le $\delta^{15}\text{N}$ le plus haut, signe probable d'un interstade particulièrement clément avant le fort refroidissement du maximum glaciaire würmien (LGM) situé entre 23'000 et 21'000 cal. BP. Une compilation des datations d'ours des cavernes réalisée par PACHER & STUART (2008) pour les Alpes et les régions adjacentes suggère que l'ours des cavernes aurait disparu vers 27'800 ans cal. BP, suite au refroidissement climatique et à l'englacement progressif de la chaîne alpine. Ce changement environnemental drastique a entraîné l'effondrement de la production végétale et provoqué la disparition de l'ours des cavernes, en

raison de son régime alimentaire et d'une répartition fragmentée en Europe. A la question formulée dans le titre du premier article consacré aux découvertes du Bärenloch, nous pouvons donc aujourd'hui répondre par l'affirmative : oui, le Bärenloch constitue bel et bien l'un des derniers repaires d'ours des cavernes de l'arc alpin.

Remerciements

Nous remercions les personnes et institutions suivantes qui ont soutenu ce travail : MARIUS ACHERMANN (Bureau pour la protection de la nature et du paysage, Fribourg), ANDRÉ FASEL (Musée d'histoire naturelle, Fribourg), MICHEL MAUVILLY (Service archéologique de l'Etat de Fribourg), JEAN-PIERRE BERGER (Département de Géosciences, Université de Fribourg), Loterie Romande Fribourg, Spéléo-club des Préalpes fribourgeoises, MARTINA PACHER et GERNOT RABEDER (Université de Vienne).

Bibliographie

- ANDRIST, D., FLÜCKIGER, W. & ANDRIST, A., 1964. Das Simmental zur Steinzeit. – Sonderdruck der *Acta Bernensia* III, verlag Stämpfli & Cie, Bern.
- ARGANT, A., JEANNET, M., BARRIQUAND, J., BARRIQUAND, L. & ARGANT, J., 2008. Evolution des associations à grands félidés de la Brèche de Château (Bourgogne, France) au cours du Pléistocène moyen : stratigraphie, datation et paléoenvironnement. Actes du 14th international cave bear symposium, Appenzell, September 18-22, 2008. *Stalactite* 58 (2), 6-9.
- BLANT, M., BOCHUD, M., BRAILLARD, L. & MAGNIN B., 2004. Bärenloch (Jaun, FR) : le dernier repaire d'ours des cavernes dans les Alpes suisses ? *Stalactite* 54, 1, 39-47.
- BLANT, M., CONSTANDACHE, M., BOCHUD, M. & BRAILLARD, L., 2008. Premiers résultats des fouilles 2003-2006 au Bärenloch (Préalpes fribourgeoises). Actes du 14th international cave bear symposium, Appenzell, September 18-22, 2008. *Stalactite* 58 (2), 15-20.

- BLANT, M., MORETTI, M. & TINNER, W., 2010. Effect of climatic and palaeoenvironmental changes on the occurrence of Holocene bats in the Swiss Alps. *The Holocene* 20(5), 711-721.
- BOCHERENS, H., FIZET, M. & MARIOTTI, A., 1994. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: implication for Pleistocene bears. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107, 213-225.
- BOCHERENS, H., DRUCKER, D., BILLIOU, D., 2005. Etat de conservation des ossements dans la grotte Chauvet (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche, France) : implications pour la biogéochimie isotopique (paléodiètes, paléoenvironnements, datations au radiocarbone). *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 1 : 77-87.
- BOCHERENS, H., DRUCKER, D. G., BILLIOU, D., GENESTE, J.-M. & VAN DER PLICHT, J., 2006. Bears and humans in Chauvet Cave (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche, France) : insights from stable isotopes and radiocarbon dating of bone collagen. *Journal of Human Evolution* 50, 370-376.
- BOCHERENS, H., STILLER, M., HOBSON, K.A., PACHER, M., RABEDER, G., BURNS, J.A., TÜTKEN, T., HOFREITER, M. in press. Niche partitioning between two sympatric genetically distinct cave bears (*Ursus spelaeus* and *Ursus ingressus*) and brown bear (*Ursus arctos*) from Austria: isotopic evidence from fossil bones. *Quaternary International*. DOI: 10.1016/j.quaint.2010.12.020.
- BOCHERENS, H. soumis. Biogéochimie isotopique du carbone (^{13}C) et de l'azote (^{15}N) du collagène osseux et dentaire : implications paléobiologiques. In: (M. Philippe, A. Argant & R. Ballesio, Eds) *La Balme à Collomb et ses ours des cavernes*. Cahiers scientifiques du Centre de Conservation et d'Etude des Collections (Muséum d'Histoire naturelle de Lyon).
- BOCHUD, M., BLANT, M., BRAILLARD, L., MAGNIN, B. & JUTZET, J.-M., 2007. Les ours des cavernes et la faune du Pléistocène supérieur de la grotte du Bärenloch (Charmey, FR). *Actes du 12^e Congrès National de Spéléologie, Vallée de Joux, 15-17 septembre 2007*, 148-154.

- BRAILLARD, L., MENOUD, S., MAUVILLY, M., BOISAUBERT, J.-L. & BAERISWYL, J.-M., 2003. Préalpes et chasseurs-cueilleurs en terres fribourgeoises, une vieille et longue histoire... Cahiers d'Archéologie Fribourgeoise n° 5/2003/Etudes : 42-71.
- BRAILLARD, L., GUÉLAT, M. & RENTZEL, P., 2004. Effects of Bears on Rockshelter Sediments at Tanay Sur-les-Creux, Southwestern Switzerland. *Geoaarcheology* 19 (4), 343-367.
- CONSTANDACHE, M., 2009. Le Bärenloch – Approche structurale et étude paléontologique d'une population d'*Ursus spelaeus* des Préalpes fribourgeoises. Master thesis, Université de Fribourg, 155 p.
- DÖPPES, D., ROSENDAHL, W., PACHER, M., IMHOF, W., DALMERI, G. & BOCHERENS, H., 2008. Stabile Isotopenuntersuchungen an spätglazialen und holozänen Braunbärfunden aus Höhlen in Alpenraum. Actes du 14th international cave bear symposium, Appenzell, September 18-22, 2008. *Stalactite* 58 (2), 64-66.
- DRUCKER, D. G., BOCHERENS, H. & BILLIOU, D., 2003. Evidence for shifting environmental conditions in Southwestern France from 33000 to 15000 years ago derived from carbon-13 and nitrogen-15 natural abundances in collagen of large herbivores. *Earth and Planetary Science Letters* 216, 163-173.
- DRUCKER, D. G., BRIDAULT, A., HOBSON, K. A., SZUMA, E. & BOCHERENS, H. 2008. Can carbon-13 abundances in large herbivores track canopy effect in temperate and boreal ecosystems? Evidence from modern and ancient ungulates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 266: 69-82.
- EGLOFF, M., 1971. Deux nouvelles grottes à *Ursus spelaeus* dans les Préalpes vaudoises. Actes du 4^e Congrès national de Spéléologie, Neuchâtel, 26-27 Septembre 1970, 215-225.
- KURTÉN, B., 1976. The cave bear story. Life and Death of a vanished Animal. Columbia University Press, 163 p.
- MAGNIN, B., 2010 a. Les ossements de chiroptères de la grotte du Bärenloch (Charmey, Préalpes fribourgeoises). *Bulletin de la Société fribourgeoise des sciences naturelles* Vol. 99 (2010), ce fascicule.

- MAGNIN, B., 2010 b. Les ossements de micromammifères terrestres de la grotte du Bärenloch (Charmey, Préalpes fribourgeoises). Bulletin de la Société fribourgeoise des sciences naturelles, Vol. 99 (2010), ce fascicule.
- MAUVILLY, M., BRAILLARD, L. & KRAMER L., 2006. Le Petit Mont, une vallée-sanctuaire préhistorique au coeur des Préalpes fribourgeoises. Cahiers d'Archéologie Fribourgeoise 8, 112-145.
- PACHER, M. & STUART, A.J., 2008. Extinction chronology and palaeobiology of the cave bear (*Ursus spelaeus*). Boreas 38, 189-206.
- PRAZ, J.-C., CURDY, P., LEUZINGER, U., LEUZINGER-PICCAND, C. & SCHWEIZER, M., 2000. Paléolithique alpin à Tanay (commune de Vouvry VS). Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie 83, 2000, 25-35.
- RABEDER, G., 1999. Die Evolution des Höhlenbärengebisses. Mitt. Komm. Für Quartärforschung, Bd 11, Österr. Akad. Wiss., Wien, 1-102.
- RABEDER, G., 2001. Geschlechtsdimorphismus und Körpergrösse bei hochalpinen Höhlenbärenfaunen. Beitr. Paläont. 26, 117-132.
- RABEDER, G., NAGEL, D. & PACHER, M., 2000. Der Höhlenbär. Jan Thorbecke Verlag, Stuttgart, 111 p.
- RABEDER, G. & HOFREITER, M., 2004. Der neue Stammbaum der alpinen Höhlenbären. Die Höhle 55 (1-4), 58-77.
- RABEDER, G., HOFREITER, M., NAGEL, D. & WITHALM, G., 2004. New Taxa of Alpine Cave Bears. Proceedings of the 9th International Cave Bear Symposium, Entremont-le-Vieux, septembre 203. Cahiers scientifiques / Hors série n° 2, 49-63.
- RABEDER, G., DEBELJAK, I., HOFREITER, M. & WITHALM, G., 2008. Morphological responses of cave bears (*Ursus spelaeus* group) to high-alpine habitats. Die Höhle 59 (1-4), 59-72.
- SCHMID, E., 1972. Atlas of Animal Bones. Elsevier publ., Amsterdam-London-New York, 159 p.

- SCHWEIZER, M., 1999. Etude d'une population d'Ours des cavernes (*Ursus spelaeus* Rosenmüller & Heinroth, 1794) provenant de la grotte de Vacluse (Doubs, France). Travail de diplôme, Université de Genève, 2 vol.
- SCHWEIZER, M., 2000. La faune préhistorique des grottes des Crosses et de la Grande Barne à Tanay (Vouvry, Valais). Bull. Murithienne 118, 59-65.
- SCHWEIZER, M., 2002. L'ours des cavernes. In : Crotti P. et al. (eds), 2002. Premiers hommes dans les Alpes, de 50000 à 5000 avant Jésus-Christ. Catalogue de l'exposition, Sion 2002. Editions Payot, Lausanne & Musées cantonaux du Valais, Sion, 55-59.
- SCHWEIZER, M., 2003. La faune de la grotte des Dentaux (Villeneuve, Vaud). Cahiers d'archéologie romande 95, 37-46.
- SOMMER, R. S. & BENECKE, N., 2006. Late Pleistocene and Holocene development of the felid fauna (*Felidae*) of Europe: a review. Journal of Zoology 269, 7-19.
- STUART A.J. & LISTER, A.M., 2010. Extinction chronology of the cave lion *Panthera spelaea*, Quaternary Science Reviews doi:10.1016/j.quascirev.2010.04.023