Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 88 (2002-2003)

Heft: 2

Artikel: Les âges de la météorite du Bois de la Chervettaz Palézieux (VD)

Autor: Giorgis, David / Meisser, Nicolas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-281422

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 19.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bulletin de Géologie de l'Université de Lausanne N° 351

Les âges de la météorite du Bois de la Chervettaz, Palézieux (VD)

par

David GIORGIS¹ et Nicolas MEISSER²

Abstract.—GIORGIS D. and MEISSER N., 2002. The ages of the Chervettaz meteorite (canton de Vaud, Switzerland). Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 88.2: 131-142.

In order to commemorate the century of the fall of the Chervettaz meteorite in the canton de Vaud and in order to complete the scientific knowledge of this extraterrestrial object, argon (Ar) isotopical analyses were realized on various fractions of this meteorite. By determination of the proportion of cosmogenic ³⁸Ar, it was possible to estimate an exposure age of 23-33 million years for the Chervettaz meteorite, which lead to better understand the long attractive geological and galactic history of this celestial object belonging today to the scientific patrimony of the canton de Vaud!

Keywords: chondrite, exposure age, cosmic ray, parent body.

Résumé.—GIORGIS D. et MEISSER N., 2002. Les âges de la météorite du Bois de la Chervettaz, Palézieux (VD). Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 88.2: 131-142.

Afin de commémorer le centenaire de la chute de la météorite de la Chervettaz dans le canton de Vaud et afin de faire le point et compléter les connaissances scientifiques de cet objet extraterrestre, des analyses isotopiques de l'argon (Ar) ont été réalisées sur différentes fractions de cette météorite. Grâce au dosage de la concentration d'38Arcosmogénique, il a été possible d'estimer l'âge d'exposition de la météorite de la Chervettaz à 23-33 millions d'années, ce qui permet de préciser la longue et fascinante histoire géologique et galactique de cet objet céleste appartenant aujourd'hui au patrimoine scientifique vaudois!

Mots clés: chondrite, âge d'exposition, rayonnement cosmique, corps-parent.

¹Institut de minéralogie et géochimie, Université de Lausanne, BFSH2, CH-1015, Lausanne, Suisse.

²Musée cantonal de géologie et Institut de minéralogie et géochimie, Université de Lausanne, BFSH2, CH-1015 Lausanne, Suisse.

Introduction

Il y a 101 ans, le 30 novembre 1901 vers 14 h, M. Décosterd et ses collègues, qui travaillaient dans le bois de la Chervettaz, découvrirent à quelques mètres de leur lieu de travail, trois fragments d'une pierre «d'une chaleur agréable» qui venait de tomber du ciel et qui, quelques minutes auparavant, avait attiré l'attention de plusieurs indigènes se trouvant entre les vallées des Ormonts et de la Broye. Par la suite, sur la base des nombreux témoignages récoltés par Lugeon (1904), la trajectoire de cette chute extraordinaire a pu être partiellement reconstituée. La météorite de la Chervettaz a donc le rare privilège de faire partie des météorites dont la chute fut observée et dont on a immédiatement retrouvé des fragments, ce qui a permis d'éviter toute altération terrestre. Afin de commémorer le centenaire de cet événement sensationnel, le présent article fait le point sur l'état des connaissances scientifiques concernant la météorite de la Chervettaz et apporte de nouvelles données permettant de préciser son histoire et son évolution.

DESCRIPTION

Minéralogie et pétrographie

A ce jour, seulement deux publications scientifiques sont consacrées à la météorite de la Chervettaz. L'une rapporte et décrit avec précision sa chute et sa découverte (Lugeon 1904), l'autre décrit et caractérise sa pétrographie et sa minéralogie (Dominik *et al.* 1994). Les quelques lignes qui suivent sont un rappel des principales caractéristiques de cette météorite, tiré de ces deux publications.

La météorite de la Chervettaz est une météorite dite pierreuse qui possède des chondres de 0.3 à 1.5 mm de diamètre noyés dans un assemblage cristallin (fig. 1) constitué essentiellement de forstérite ou «olivine», (Mg,Fe²+)₂SiO₄ – orthorhombique, d'ortho- et clino-pyroxènes, (Mg,Fe²+,Ca)₂Si₂O₆ – orthorhombique, respectivement monoclinique et de plagioclase, (Na,Ca,K)(Si,Al)₄O₈ – triclinique. Les minéraux accessoires sont la troïlite, FeS – hexagonal, les alliages kamacite, taenite et «plessite», (Fe,Ni) – cubiques, ainsi que la chromite, Fe²+Cr₂O₄ – cubique. Enfin signalons la présence mineure d'un pyrophosphate calcique, la whitlockite, (Ca,Na)₉ (Mg,Fe²+)(PO₄)₆(PO₃OH) – rhomboédrique, découverte pour la première fois dans une météorite suisse. La plupart de ces phases minérales ont été caractérisées par analyses chimiques, optiques et radiocristallographiques, ce qui a permis à DOMINIK *et al.* (1994) de classer cette météorite dans la catégorie des chondrites de type L5 (classification basée sur la pétrographie de la

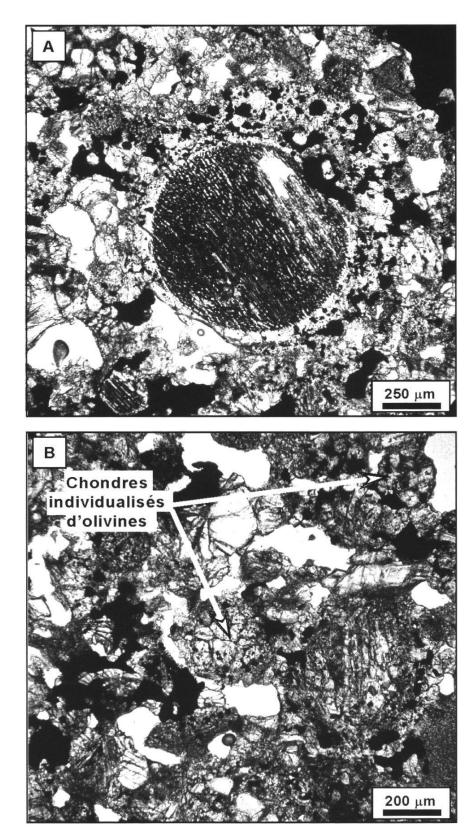


Figure 1.—Microphotographie d'une coupe mince de la météorite de la Chervettaz, montrant en a) deux chondres barrés (au centre et en bas à gauche de l'image) par des cristaux de forstérite et en b) des chondres porphyriques avec des grains individualisés de forstérites et les régions sombres (en noir) correspondant à la matrice fine, au métal (alliages Fe-Ni) et à la troilite. MGL n° 4708. Les chondres barrés sont peu fréquent (ils représentent environ 4% des chondres) dans les chondrites ordinaires et se caractérisent par une bordure généralement épaisse et composée d'olivines et un intérieur tapissé par une série de barres parallèles d'olivines noyées dans une matrice vitreuse (en noir). Ce type de structure (inconnu dans les roches terrestres) représente les restes de gouttelettes fondues individuellement et solidifiées très rapidement.

météorite et la composition chimique des minéraux, d'après VAN SCHMUS ET WOOD (1967). D'autre part, l'étude de la texture des minéraux montre en lame mince de légères déformations, ce qui a amené DOMINIK *et al.* (1994) à classer cette météorite dans la catégorie S3 selon la classification du métamorphisme d'impact de STÖFFLER (1991).

Les âges de la météorite de la Chervettaz

Chaque météorite est classiquement caractérisée par trois âges:

1) L'âge de formation ou les intervalles de formation de la météorite.

Les météorites sont des corps contemporains de la formation du système solaire pour lesquels le processus d'accrétion de la matière, qui est responsable de la formation des planètes et des astéroïdes, a avorté rapidement. Par conséquent, lorsque l'on date une météorite et plus particulièrement une chondrite, on date les premiers stades (les premiers millions, voire dizaine de millions d'années !) de la formation de notre système solaire. Les intervalles de formation définissent l'intervalle de temps entre, d'une part, la séparation et l'isolement de la nébuleuse protosolaire du milieu galactique nourricier, d'autre part, le moment où les météorites se constituent en système clos solide et sont assez refroidies pour retenir dans leurs phases minérales les isotopes fils produits par la désintégration de certains radionucléides pères.

2) L'âge d'exposition.

Cet âge correspond à la période de temps qui s'est écoulée entre le moment où la météorite s'est détachée de son «corps-parent», généralement un astéroïde et le moment ou elle est tombée sur Terre. Durant cette période la météorite est irradiée par les flux de protons p^+ du rayonnement cosmique solaire et galactique (R.C.G.) qui produisent des réactions nucléaires (interactions de spallation) avec le fragment météoritique et ceci jusqu'à une profondeur de l'ordre du mètre. Ces réactions de spallation donnent naissance à des isotopes stables ou radioactifs (isotopes spallogéniques) tels que ³He, ²¹Ne, ³⁸Ar, ⁸³Kr ou ¹²⁶Xe. L'étude de l'abondance isotopique de chacun de ces éléments et la constance dans le temps du R.C.G. permettent de calculer le temps de séjour dans l'espace d'une météorite.

3) L'âge d'impact terrestre.

Celui-ci est connu si la chute de la météorite est observée. De plus, cet âge peut être mesuré à l'aide de ³⁶Cl, ¹⁰Be, ⁵³Mn ou ⁵⁹Ni si la chute n'a pas été observée.

Pour la météorite de la Chervettaz on connaît deux âges. Son âge d'impact (101 ans) et son âge de formation, puisqu'il est aujourd'hui admis que les chondrites ordinaires (dont la météorite de la Chervettaz fait partie) se sont

toutes formées dans un intervalle de temps situé entre 4.54 et 4.56 Ga (Giga-an=10⁹ ans). Par contre, l'âge d'exposition reste encore une inconnue, bien que celui-ci soit d'après les travaux de Marti et Graf (1992) généralement compris entre 3 et 60 Ma (Méga-an=10⁶ ans). Par conséquent, afin de combler cette lacune, nous avons tenté d'estimer l'âge d'exposition de la météorite de la Chervettaz en mesurant l'abondance des isotopes 36, 38 et 40 de l'argon (rappel: ces 3 isotopes sont aussi présents dans l'atmosphère terrestre avec les proportions actuelles suivantes: ⁴⁰Ar=99.6%, ³⁸Ar=0.063%, ³⁶Ar=0.337%). Cette méthode est basée sur le dosage de la concentration d'³⁸Ar cosmogénique produit par le R.C.G. Dans une chondrite, l'³⁸Ar cosmogénique est généralement produit par spallation d'éléments majeurs tels que K, Ca, Fe, Ni, Ti, Cr et Mn (Freundel *et al.* 1986).

MÉTHODE ANALYTIQUE

Préparation des échantillons, extraction de l'argon et mesure des isotopes de l'argon: un fragment (quelques dizaines de mg) de la météorite de la Chervettaz a été prélevé à l'intérieur (>1-2 cm) du corps principal afin d'éviter tout effet de perte d'Ar lié au réchauffement et à la fusion de la bordure lors de la traversée de l'atmosphère. Ce fragment a été broyé dans un mortier en acier inox afin d'obtenir une poudre (<500 μm). Ensuite, quatre fractions respectivement de 1.9, 3.1, 9.6 et 12.2 mg ont été emballées dans des feuilles d'aluminium, introduites dans la ligne d'extraction et chauffées à ~50°C durant 3 jours afin d'enlever le plus possible d'Ar terrestre adsorbé. Pour chacune de ces fractions l'Ar a été extrait par chauffage par palier allant de 700°C à 1650°C. Un premier palier de dégazage a été réalisé sans mesure de la composition isotopique de l'Ar, afin d'éliminer une éventuelle fraction d'Ar atmosphérique piégé par la météorite. Une fois libéré, l'argon a été purifié dans la ligne d'extraction grâce à un piège froid maintenu à la température de l'azote liquide et deux pièges à Zr/Ti/Al activés afin d'éliminer des gaz tels que O₂, N₂ et H₂. La composition isotopique de l'Ar a ensuite été mesurée avec un spectromètre de masse MAP 215-50. Après la mesure, les analyses ont été traitées et corrigées du bruit de fond, du blanc et du fractionnement isotopique.

Calcul de l'âge d'exposition

Pour chaque fraction analysée, nous avons calculé la proportion $d'^{36}Ar_{total}$, $d'^{38}Ar_{total}$ et $d'^{40}Ar_{total}$, en additionnant les valeurs obtenues pour chaques paliers de température. Par la suite, sachant d'une part que:

- 1) $^{36}Ar_{total} = ^{36}Ar_{trap} + ^{36}Ar_{cos}$
- 2) ${}^{38}Ar_{total} = {}^{38}Ar_{trap} + {}^{38}Ar_{cos}$
- 3) $^{40}Ar_{total} = ^{40}Ar_{trap} + ^{40}Ar_{cos} + ^{40}Ar_{rad}$

où: ³⁸Ar_{trap} (resp. ³⁶Ar_{trap} et ⁴⁰Ar_{trap})=³⁸Ar (resp. ³⁶Ar et ⁴⁰Ar) piégés lors de la formation de météorite (Ar primordial);

³⁸Ar_{cos}=³⁸Ar cosmogénique produit par interaction avec le R.C.G.

⁴⁰Ar_{rad}=⁴⁰Ar radiogénique (produit par désintégration radioactive de ⁴⁰K) et d'autre part (d'après les travaux de GOEBEL *et al.* 1978, SWINDLE 1988 et EUGSTER *et al.* 1988, 1993) que, pour les chondrites:

4)
$$\frac{^{36}Ar_{trap}}{^{38}Ar_{trap}} = 5.32$$

$$5) \quad \frac{^{36}Ar_{\cos}}{^{38}Ar_{\cos}} = 0.65$$

6)
$$\frac{^{40}Ar_{\cos}}{^{38}Ar_{\cos}} = 0.2$$

7)
$$\frac{^{40}Ar_{trap}}{^{36}Ar_{trap}} = 0.00029$$

il est relativement aisé de calculer la proportion d' 38 Ar $_{cos}$. Pour finir, l'âge d'exposition (T_{38} en Ma) est obtenu en multipliant la proportion d' 38 Ar $_{cos}$ (en cm 3 STP/g) par P_{38} (le taux de production d' 38 Ar $_{cos}$ en cm 3 STP/g/Ma) selon l'expression suivante:

$$T_{38} = {}^{38}Ar_{\cos} \cdot P_{38}$$

P₃₈ est une constante qui dépend de différents paramètres, en particulier la section efficace de la météorite, que l'on peut calculer (cf. FREUNDEL *et al.* 1986, EUGSTER 1988). Toutefois, la valeur de cette constante varie généralement peu pour un type pétrographique donné de chondrite et EUGSTER (1988 et communication orale) recommande d'utiliser la valeur de 0.0462 (10-8 cm³ STP/g/Ma) pour une chondrite de type L. L'incertitude étant de +10% et -20%.

RÉSULTATS

Les quatre fractions de la météorite de la Chervettaz analysées présentent des spectres de dégazage identiques (cf. exemple de la figure 2). Il est intéressant de noter que l'⁴⁰Ar_{rad} (qui représente plus de 99% de ⁴⁰Ar contenu dans la météorite) est libéré à des températures nettement plus faibles que ³⁶Ar_{trap} et ³⁸Ar_{cos} (dégazage principal entre 700 et 1050°C pour ⁴⁰Ar_{rad} et entre 1200

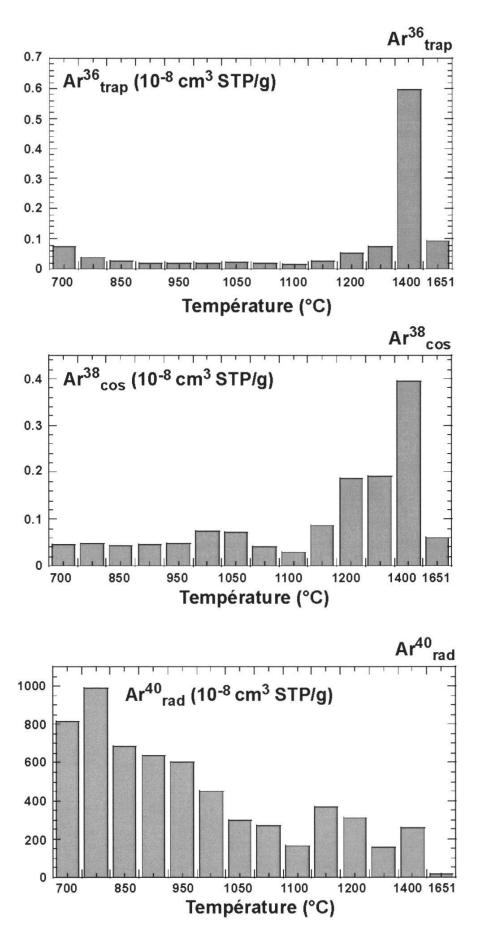


Figure 2.—Proportion d' 36 Ar_{trap}, d' 38 Ar_{cos} et d' 40 Ar_{rad} libéré à chaque température pour une fraction de 9.6 mg de la météorite de la Chervettaz.

et 1650°C pour ³⁶Ar_{trap} et ³⁸Ar_{cos}). Ceci montre clairement que ces trois isotopes se répartissent dans des sites cristallographiques distincts et sont probablement localisés dans différents types de minéraux (⁴⁰Ar_{rad} étant situé dans des minéraux moins réfractaires que ³⁶Ar_{trap} et ³⁸Ar_{cos}). C'est ainsi que ⁴⁰Ar_{rad} est probablement localisé dans les plagioclases (car issu de la désintégration de ⁴⁰K) et que ³⁸Ar_{cos} est probablement localisé dans les minéraux ferromagnésiens tels que la forstérite et les pyroxènes (car en partie issu de réactions de spallation avec Fe). D'autre part, ceci indique encore que s'il y a eu perte d'argon partiel lors du préchauffage à 500°C, la part d'³⁶Ar et d'³⁸Ar est totalement négligeable.

Les âges d'exposition obtenus à partir de ³⁸Ar_{cos} sont relativement concordants entre les quatre fractions analysées, variant de 23 à 33 Ma, avec des incertitudes (2σ) comprises entre 1 et 3.2 Ma (tableau 1). Toutefois, la variabilité obtenue s'explique par le fait que les analyses ont été réalisées sur des fractions de poids très variables. Ceci donne facilement lieu à des hétérogénéités dans la distribution des isotopes de l'argon, entre les différentes fractions. Il est d'ailleurs intéressant de noter qu'un tel phénomène a déjà été observé par Eugster *et al.* (1993) lorsque ces derniers ont analysé de petites fractions de poids significativement différents.

Tableau 1Ages	d'exposition	et	abondance	des	isotopes	36 Ar,	^{38}Ar	et	⁴⁰ Ar	dans
différentes fractio	ns de la météc	rite	e de la Cher	vetta	$z(10^{-8} cr$	n ³ STI	P/g).			

Chervettaz (L5)	$^{36}Ar_{total}$	$^{38}\mathrm{Ar}_{\mathrm{total}}$	$^{40}\mathrm{Ar}_{\mathrm{total}}$	$^{38}\mathrm{Ar}_{\mathrm{cos}}$	Age d'exposition (en Ma) $\pm 2\sigma$
Fraction 1	1.833 ± 0.054	1.293 ± 0.028	$4986.8 \pm \! 11.0$	1.080 ± 0.044	23.4 ± 1.8
Fraction 2	2.039 ± 0.016	1.484 ± 0.008	5651.3 ± 5.8	1.253 ± 0.021	27.1 ±1.0
Fraction 3	2.110 ± 0.012	1.744 ± 0.007	6596.0 ± 7.1	1.534 ± 0.067	33.2 ±2.9
Fraction 4	1.990 ± 0.017	1.579 ± 0.009	6031.4 ± 6.6	1.372 ± 0.072	29.7 ±3.2

SIGNIFICATION

Les âges d'exposition des différents types de météorites apportent des informations intéressantes. On constate par exemple que les sidérites présentent des âges d'exposition de un à deux ordres de grandeur plus élevés que les chondrites, avec des pics significatifs à ~200, ~400, ~700 et ~900 Ma (VOSHAGE et FELDMANN 1979). La distribution des âges d'exposition des chondrites ordinaires est sensiblement différente: les chondrites de type H présentent un pic à ~7 Ma et un autre à 33 Ma (MARTI et GRAF 1992), alors que les chondrites de type L sont distribuées de manière plus homogène entre 3 et 60 Ma (MARTI

et GRAF 1992). La grande différence entre les âges d'exposition des sidérites et des chondrites semble pouvoir être attribuée à la fragilité relative de ces dernières qui seraient brisées plus rapidement par des collisions successives dans l'espace (les sidérites sont composées d'alliages Fe-Ni très tenaces, alors que les chondrites sont constituées d'un assemblage silicaté cassant). Toutefois, si l'on observe en détail la distribution des âges d'exposition des chondrites de type L (MARTI et GRAF 1992), on constate également la présence de deux pics significatifs (fig. 3); l'un à ~28 Ma et l'autre à ~40 Ma, correspondant probablement à deux périodes importantes de collisions entre astéroïdes (ou corps-parents), expulsant et déviant de nombreux fragments rocheux dont la trajectoire finira par recouper l'orbite de la Terre. Les âges d'exposition de la météorite de la Chervettaz varient entre 23 et 33 Ma, comme pour la plupart des chondrites de type L. Par conséquent, il est probable que la météorite de la Chervettaz soit un des nombreux fragments issus d'une importante période collisionnelle estimée aux alentours de 28 Ma par MARTI et GRAF (1992).

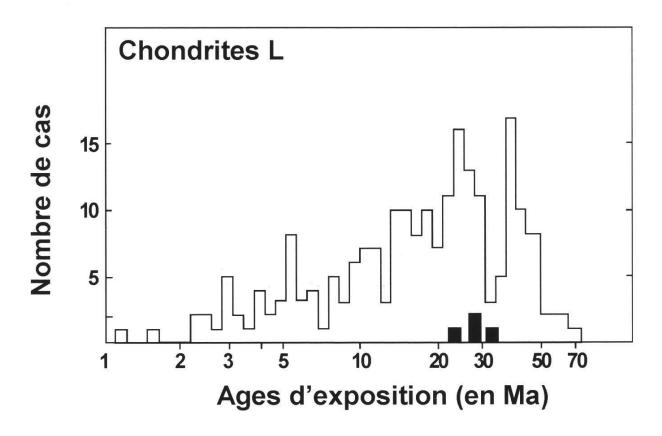


Figure 3.—Distribution des âges d'exposition dans les chondrites de type L. Les contours de l'histogramme sont tirés du travail de MARTI et GRAF (1992). Les symboles noirs correspondent aux données obtenues sur la météorite de la Chervettaz lors de cette étude.

CONCLUSIONS

Sur la base des résultats obtenus par l'analyse des isotopes de l'argon, il apparaît que la longue histoire de la météorite de la Chervettaz se caractérise par les trois étapes suivantes:

- 1) Il y a ~4.55 Ga, formation par accrétion rapide du corps-parent (astéroïde) de la météorite de la Chervettaz.
- 2) Il y a ~28 Ma, à la suite d'un important événement collisionnel impliquant des astéroïdes de type Q ou S(IV) (les seuls types d'astéroïdes qui, d'après les données obtenues par spectrométrie d'absorption, pourraient correspondre aux corps-parents des chondrites de type H, L et LL) appartenant probablement aux NEAs (Near-Earth Asteroids), la météorite de la Chervettaz se détache de son corps-parent, se trouve soumis aux R.C.G. et débute son voyage pour la Terre.
- 3) Le 30 novembre 1901, vers 14 h, chute de la météorite dans le bois de la Chervettaz et collecte de cette dernière par M. Louis Décosterd et ses collègues MM. Constant Ducrot, Jules Rogivue et Alfred Favey.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement Andreas Mulch pour son aide lors de la mesure des isotopes de l'argon. D'autre part, nous remercions également Mike Cosca et Otto Eugster pour leurs commentaires et leurs conseils dans la préparation des échantillons, le traitement des résultats et le calcul des âges d'exposition, ainsi que François Bussy et Christian Steiner pour leurs relectures de ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- DOMINIK B., BUSSY F., and MEISSER N., 1994. The Chervettaz (L5) meteorite. *Meteoritics* 29/5: 696-697.
- EUGSTER O., 1988. Cosmic-ray production rates for ³He, ²¹Ne, ³⁸Ar, ⁸³Kr, and ¹²⁶Xe, in chondrites based on ⁸¹Kr-Kr exposure ages. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52: 1649-1662.
- EUGSTER O., MICHEL Th., NIEDERMANN S., WANG D., and YI W., 1993. The record of cosmogenic, radiogenic, fissiogenic and trapped noble gases in recently recovered Chinese and other chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57: 1115-1142.
- FREUNDEL M., SCHULTZ L., and REEDY R.C., 1986. Terrestrial ⁸¹Kr-Kr ages of Antarctic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50: 2663-2673.
- GOEBEL R., OTT U. and BEGEMANN F., 1978. On trapped noble gases in ureilites. *J. geophys. Res.* 83: 855-867.
- Lugeon M., 1904. La météorite du bois de la Chervettaz près Châtillens. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat. 149*: 1-19.
- MARTI K. and GRAF T., 1992. Cosmic-ray exposure history of ordinary chondrites. *Ann. Rev. Earth. Planet. Sci.* 20: 221-243.
- SWINDLE T.D., 1988. Trapped noble gases in meteorites. *In* Meteorites and the Early Solar Systems, Kerridge J.F. and Matthews M.S. (Eds.), Univ. Arizona Press: 535-564.
- VAN SCHMUS W.R. and WOOD J.A., 1967. A chemical petrologic classification for the chondritic metorites. *Geochim. Cosmochim. Acta 31*: 747-765.

Voshage H. and Feldmann H., 1979. Investigations on cosmic-ray-produced nuclides in iron meteorites; 3, Exposure ages, meteoroid sizes and sample depths determined by mass spectrometric analyses of potassium and rare gases. *Earth Planet. Sci. Lett.* 45: 293-308.

Manuscrit reçu le 10 juin 2002

ANNEXE

ANNEX	KE (Données argon brut p	our chaque palier de temp	pérature)		
	Fraction 1	(1.89 mg)			
Températures (°C)	40Ar	38Ar	36 Ar $(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$		
	$(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$	$(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$			
700	1188.2 ±1.4	0.0942 ± 0.0035	0.1889 ± 0.0062		
800	425.5 ± 1.2	0.0448 ± 0.0029	0.1007 ± 0.0059		
900	781.0 ± 1.2	0.0582 ± 0.0028	0.0937 ± 0.0057		
1000	836.1 ± 1.3	0.0877 ± 0.0030	0.0975 ± 0.0056		
1050	315.0 ± 1.1	0.0512 ± 0.0029	0.0667 ± 0.0056		
1100	395.4 ± 1.2	0.0456 ± 0.0029	0.0623 ± 0.0056		
1200	562.6 ± 1.1	0.2402 ± 0.0029	0.2393 ± 0.0058		
1351	464.4 ± 1.2	0.6032 ± 0.0036	0.8666 ± 0.0062		
1651	18.7 ± 1.3	0.0679 ± 0.0034	$0.1175 \pm\! 0.0070$		
Total	4986.8 ± 11.0	1.2929 ± 0.0279	1.8330 ± 0.0536		
	Fraction 2	2 (3.05 mg)			
750	1041.6 ±0.8	0.0921 ±0.0019	0.2324 ± 0.0038		
950	2155.1 ±2.2	$0,1566 \pm 0,018$	$0.2176\pm0,035$		
1200	1989.3 ± 1.7	0.5218 ± 0.0021	$0.4849 \pm\! 0.0036$		
1651	465.3 ± 1.1	0.7134 ± 0.0026	1.1041 ± 0.0046		
Total	5651.3 ± 5.8	1.4838 ± 0.0083	2.0389 ± 0.0156		

Températures (°C)	$^{40}\mathrm{Ar}$	38Ar	³⁶ Ar		
	$(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$	$(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$	$(10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g})$		
	Fraction 3	(12.2 mg)			
700	1416.3 ±1.5	0.0746 ± 0.0006	0.0830 ± 0.0010		
800	573.1 ± 0.6	0.0368 ± 0.0006	0.0433 ± 0.0009		
900	1026.9 ± 0.9	0.0628 ± 0.0006	0.0589 ± 0.0009		
1000	1151.8 ± 1.3	0.0988 ± 0.0005	0.0848 ± 0.0009		
1050	383.9 ± 0.5	0.0725 ± 0.0005	0.0704 ± 0.0009		
1080	332.5 ± 0.4	0.0484 ± 0.0005	0.0503 ± 0.0009		
1100	173.0 ± 0.2	0.0260 ± 0.0004	0.0324 ± 0.0009		
1150	363.7 ± 0.4	0.0795 ± 0.0005	0.0750 ± 0.0009		
1200	361.9 ± 0.3	0.1978 ± 0.0005	0.1856 ± 0.0009		
1250	268.2 ± 0.3	0.2561 ± 0.0006	0.2483 ± 0.0009		
1400	530.9 ± 0.6	0.7597 ± 0.0011	1.1200 ± 0.0011		
1651	13.6±0.2	0.0308 ± 0.0006	0.0583 ± 0.0011		
Total	6596.0 ± 7.1	1.7439 ± 0.0070	2.1104 ± 0.0113		
	Fraction 4	(9.59 mg)			
700	810.9 ± 0.8	0.0602 ± 0.0007	0.1037 ± 0.0113		
800	988.5 ± 0.8	$0.0553 \pm \! 0.0006$	0.0680 ± 0.0011		
850	684.7 ± 0.5	$0.0494 \pm \! 0.0006$	0.0571 ± 0.0011		
900	640.3 ± 0.7	$0.0499 \pm\! 0.0006$	0.0504 ± 0.0011		
950	605.3 ± 0.7	0.0505 ± 0.0006	0.0503 ± 0.0011		
1000	451.0 ± 0.7	0.0789 ± 0.0006	0.0674 ± 0.0011		
1050	296.8 ± 0.3	0.0775 ± 0.0006	0.0715 ± 0.0011		
1080	268.8 ± 0.3	$0.0446 \pm \! 0.0006$	0.0457 ± 0.0011		
1100	165.7 ± 0.3	0.0330 ± 0.0006	0.0356 ± 0.0011		
1150	371.6 ± 0.3	0.0921 ± 0.0006	0.0825 ± 0.0011		
1200	313.2 ± 0.3	0.1961 ± 0.0007	0.1741 ± 0.0012		
1250	158.4 ± 0.2	$0.2043\ {\pm}0.0008$	0.1966 ± 0.0012		
1400	259.4 ± 0.6	0.5085 ± 0.0009	0.8526 ± 0.0015		
1651	16.8 ± 0.3	0.0785 ± 0.0008	$0.1347\ {\pm}0.0015$		
Total	6031.4 ± 6.6	1.5787 ± 0.0092	1.9900 ± 0.0168		